МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

Б. М. ГАЛЕЕВ, С. А. АНДРЕЕВ

Принципы конструирования светомузыкальных устройств



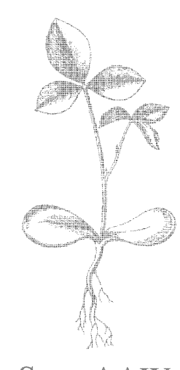
МАССОВАЯ
РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 827

Б. М. ГАЛЕЕВ, С. А. АНДРЕЕВ

ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ СВЕТОМУЗЫКАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ


«ЭНЕРГИЯ» МОСКВА 1973



6Ф2.9
Г15
УДК 534.324

Галеев Б. М. и Андреев С. А.

Г15 Принципы конструирования светомузыкальных устройств. М., «Энергия», 1973.

104 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 827).

В книге излагаются принципы технической реализации устройств воспроизведения светомузыки. Отдельно рассматриваются светомузыкальные устройства.

Книга рассчитана на радиоспециалистов и квалифицированных радиолюбителей.

$\text{Г}\frac{0345\text{-}181}{051(01)\text{-}73}270\text{-}73$ 6Ф2.9

БУЛАТ МАХМУДОВИЧ ГАЛЕЕВ
СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ АНДРЕЕВ

ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ СВЕТОМУЗЫКАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Редактор *Л. В. Цыганова*
Редактор издательства *В. А. Абрамов*
Обложка художника *А. А. Иванова*
Технические редакторы *Г. Г. Хацкевич, Н. А. Галанчева*
Корректор *Н. В. Лобанова*

Сдано в набор 2/VIII 1972 г. Подписано к печати 14/II 1973 г. Т-03536
Формат 84×108[1]/32 Бумага типографская № 2. Усл. печ. л. 5,46 + вклейка
Уч.-изд. л. 7,26. Тираж 75000 экз. Зак. 556. Цена 33 коп.

Издательство «Энергия». Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Владимирская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли

Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.

ПРЕДИСЛОВИЕ

«Светомузыкальные устройства? Это очень просто!..» Так могли бы мы озаглавить нашу книгу в подражание автору известной французской серии книг по радиотехнике.

И в самом деле, в техническом отношении решение многих задач, возникающих в ходе экспериментов по реализации светомузыкальных устройств, не представляет особой трудности и практически вполне посильно даже радиолюбителю.

Однако «это очень просто» может быть лишь при одном непременном условии: конструктор светомузыкальных устройств должен уметь разбираться не только в вопросах радиотехники и таких смежных с ней областях как светотехника, колориметрия, оптика, он должен иметь и определенный художественный вкус, желание самостоятельно углубиться в случае необходимости в теорию музыки, живописи и других искусств, или он должен привлечь к равноправному творческому содружеству профессиональных музыкантов и художников.

Сама проблема в ее философско-эстетическом аспекте не имеет еще какого-либо определенного решения и общепринятого объяснения, которое могло бы служить конструктору в качестве обязательного и единственного руководства к действию. И не следует ожидать, что представители искусства сами, путем чисто умозрительных рассуждений смогут когда-нибудь представить конструктору такое техническое задание, по которому можно было бы создать некий универсальный световой инструмент, пригодный «во все времена и на все случаи жизни».

Знакомство с основными эстетическими предпосылками, определяющими становление светомузыки и знание истории развития идеи видеть музыку позволят конструктору избежать повторения ставших уже необязательными «детских болезней» нового искусства.

Вместе с тем необходимо указать на то, что несмотря на большой интерес к проблеме синтеза музыки и света большинство публикаций, посвященных ей, носит чисто описательный характер. В нашей стране, да и за рубежом, нет еще таких изданий, в которых

проводился бы анализ и теоретическое осмысление всех этих, казалось бы, несвязанных между собой светомузыкальных экспериментов с классификацией их по каким-либо общим признакам. Авторы, насколько это возможно, предприняли попытку восполнить в какой-то мере данный пробел, включив в книгу небольшой специальный раздел, посвященный эстетическим и психофизиологическим основам светомузыки. Вместе с тем из-за ограниченного объема книги для более детального и глубокого знакомства с изучаемой проблемой авторы вынуждены отсылать читателя к той литературе, список которой приложен в конце настоящего издания.

Конечно о процессе усвоения приводимых здесь данных из области эстетики, искусствознания и психологии нельзя сказать: «Это очень просто». Искусство не сказка: «Сезам, откройся!». Зато все трудности, которые, возможно, испытывает поначалу читатель, окупятся сторицей.

Тем, кто усвоит этот «эстетический минимум», кто сумеет подчинить свой «конструкторский зуд» достойным художественным целям, тем прежде других и в своих высших формах откроется чудо «светящихся звуков».

Сама же светомузыка — после обращения к ней такого нового и широкого контингента экспериментаторов, как радиолюбители, наверняка сделает ощутимый скачок в своем развитии.

Ни в одной стране не существует еще серийно выпускаемых светомузыкальных инструментов. А среди тех, что единственны и уникальны — мало таких, которые можно было бы со спокойной совестью вручить музыкантам: «Вот вам инструмент, на котором можно исполнить «Прометей» Скрябина так, чтобы световая партия могла сравниться по воздействию со звуком!».

Именно эти «корыстные» цели преследует наша книга. Авторы смеют надеяться, что для некоторых ее читателей опыты по синтезированию музыки и света выйдут за пределы вре́менного увлечения, перестанут быть лишь случайным хобби, станут делом жизни.

Совместные усилия художников, музыкантов, конструкторов (а среди них и радиолюбителей) будут способствовать тому, что новое искусство перейдет наконец в разряд самостоятельного и полноценного искусства.

Книга написана как итог десятилетних экспериментов, проводившихся в конструкторском бюро «Прометей», объединяющем преподавателей, инженеров и студентов Казанского авиационного института и Казанской консерватории. Неудивительно поэтому, что большинство примеров в последней главе книги, где приводятся описания конкретных светомузыкальных устройств, взяты из практики СКБ «Прометей».

Главы «Эстетические и психофизиологические основы светомузыки», «Принципы конструирования светомузыкальных устройств», «Выходное оптическое устройство (ВОУ)», «Обзор современных светомузыкальных устройств» и раздел «Литература» — написаны Б. Галеевым, а «Блок управления мощностью (БУМ)» — С. Андреевым. Глава «Блок управления (БУ) и анализаторы звукового сигнала» написана совместно.

Авторы приносят искреннюю благодарность сотрудникам СКБ И. Л. Ваничкиной, И. К. Галиуллину, Р. Ф. Сайфуллину, Р. А. Галявину, канд. техн. наук П. И. Черноусову, участвовавшим в обсуждении отдельных глав книги, а также референту Ф. А. Тагирову.

Учитывая, что настоящая книга является все же только своего рода заявкой, предваряющей создание последующего, более полного и в большей степени полезного для радиолюбителей и специалистов издания, авторы с благодарностью приняли бы любые замечания и предложения читателей, которые они могут сообщить по адресу: Казань, Авиационный институт, СКБ «Прометей».

Каким образом должно создаваться подобное светомузыкальное произведение? Путем автоматического преобразования звуковой информации в световую? Как же понять это — неужели, заглядывая на тысячу лет вперед, что уже сейчас разработаны и демонстрируются довольно сложные электронные устройства, которые, судя по их описаниям в печати, «переводят» на цвет любую музыку без вмешательства человека?

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ЭСТЕТИЧЕСКИЕ И ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СВЕТОМУЗЫКИ

«Вы знаете, у меня в «Прометее» будет... свет! Я хочу чтобы были симфонии огней. Вся зала будет в переменных светах. Вот тут они разгораются, эти огненные языки, видите, как тут и в музыке огни...»

(А. Скрябин, 1910 г.)

Пути развития светомузыкального искусства

Не случайно и не на пустом месте возникает новое искусство, хотя его появление и выглядит зачастую сенсационным и неожиданным. Объективная необходимость, оказывается, исподволь и стихийно проявляет себя уже во многих художественных поисках традиционного искусства, поначалу разрозненных и непонятных, но в которых по сути дела и происходит постепенное оформление новой эстетической потребности в конкретные задачи. Еще сто лет назад Вагнер пришел к убеждению, что «каждое искусство стремится к бесконечному развитию своей области, и такое стремление приводит нас, наконец, к пределу искусства, которого оно перейти не может под страхом сделаться непонятным, странным и нелепым». «От этого убеждения — пишет композитор — я перешел к другому, а именно, что всякое искусство, достигшее своих пределов, должно подать руку другому — сродному».

Так, в неотвратимом стремлении выявить до конца свои предельные возможности не раз переступали сложившиеся границы м у з ы к а, ж и в о п и с ь, к и н е м а т о г р а ф и я, самостоятельно предпринимая попытки совместить музыкальное мышление с областью видимого. Специфические особенности каждого из отмеченных искусств рождают различие эстетических концепций этого синтеза, с чем, естественно, связано и своеобразие его художественных результатов и — что для нас особенно важно — многообразие способов его технической реализации.

Что отличает эти искусства от светомузыки или, иными словами, какие трансформации должны испытать они, чтобы «превратиться» (перейти, последовательно развиваясь) в искусство видимой музыки?

Отвечая на эти вопросы, приходится констатировать наличие трех основных тенденций, объективно представляющих «штурм с разных сторон» одной общей цели.

Их можно в кратком виде охарактеризовать следующими условными, графическими определениями:

музыка→светомузыка
живопись→светомузыка
кинематография→светомузыка.

Музыка→светомузыка («визуализация музыки»). Светомузыка, как можно судить даже по ее литературным описаниям, в качестве материальных средств использует *отвлеченные* звучания музыки, взаимодействующие определенным образом с *отвлеченными* же красочными формами *. Если обратиться к традиционной классификации — она относится к разряду *выразительных, процессуальных, слухо-зрительных* искусств. По А. Молю это искусство имеет размерность $L^2 T$** (см. его книгу «Теория информации и эстетическое восприятие». М., «Мир», 1966).

Традиционная музыка, как известно, — это *выразительное, процессуальное* искусство, воспринимаемое *слухом* и использующее *отвлеченные* звучания (ее размерность — T). Единственное качество, которого здесь в ряду подчеркнутых не хватает, чтобы «превратиться» в светомузыку — это *зрительное* (L^2).

Естественно и легко объяснимо человеческое желание совершить это «превращение» путем однозначной трансформации в свет тех звуков, из которых состоит музыка.

Вот что писал, например, еще в XVII веке ученый-схоласт А. Кирхер в своей знаменитой работе «Musurgia universalis»: «Если бы во время концерта нам была дана способность видеть воздух, который в это время колеблется одновременно под действием различных голосов и инструментов, мы тогда бы с удивлением увидели в нем очень живые и красиво сгруппированные цвета».

Впоследствии другой ученый монах Л.-Б. Кастель (1688—1757 гг.) решил реализовать мечту Кирхера о «визуализации музыки», опираясь на ложную аналогию между семью тонами музыкальной гаммы и семью цветами спектра, отмеченную его современником Ньютоном.

Великий физик пришел к этому сравнению под влиянием античного и средневекового учения «гармонии сфер», утверждающего космическую, внечеловеческую заданность законов музыки. Как трезво мыслящий ученый Ньютон впоследствии прямо заявил, что аналогия эта «только потворствует пустому любопытству», но сам все-таки успел поплатиться за увлечение этой случайной «закономерностью», придя к неправильному выводу о невозможности различия дисперсии в различных средах. Полученные им отношения цветов были верны лишь для данного сорта стекла [Л. 24].

Зато в области светомузыкальных изысканий вплоть до XX века продолжались попытки «визуализации музыки» на основе однозначного физического «перевода» звука в свет. Вера в реальность этой звуко-световой трансформации музыки была настолько велика, что Кастель, например, считал возможным заменить глухим музыку соответствующим рядом цветов для полного восприятия ее с помощью зрения [Л. 6, 30]. Даже больше, он стал верить в возможность самостоятельной беззвучной «музыки цвета», построенной на буквальном заимствовании законов слышимой музыки. Идея эта очень привлекательна по своей простоте. и ее воздействие поначалу испытывает каждый, кто открывает для себя идею видимой музыки [Л. 29, 36, 38].

Техническое решение первых «цветовых клавесинов» и «светоорганов», на свечах и масляных лампах, было столь же наивным, как

---

* В случае, если световая партия произведения ограничена бесформным чистым цветом, принято говорить не о светомузыке, а о цветомузыке.

** L — размерность длины, T — времени.

и теоретическое обоснование самой идеи «цветомузыки». С появлением электрических источников света стали конструироваться уже более мощные «светоорганы», моргающие под музыку как какие-то диковинные светофоры (рис. 1). Работа с ними позволила воочию убедиться в бессмысленности кастелевской «цветомузыки».

Аналогия Ньютона оказалась ложной, но ученые нашли впоследствии все же реальные способы визуализации звука, определяемые уже вполне объективными, присущими природе звука законами.

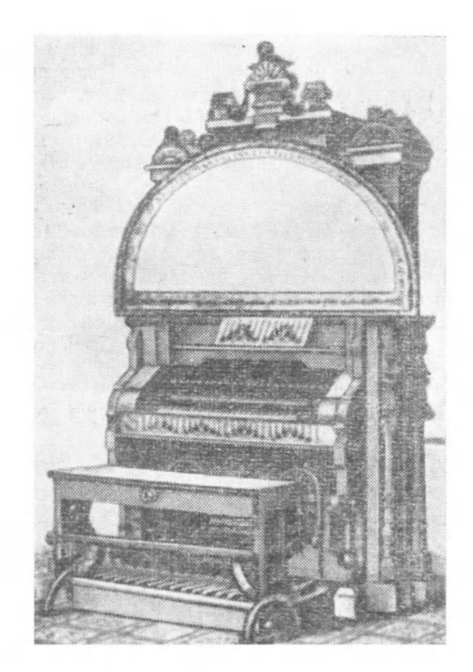


Рис. 1. «Световой орган» американца Б. Бишопа (конец XIX в.). Работал от солнечного света и электрической дуги.

«Я первым увидел звук», — написано на могиле немецкого ученого Теплера, который сумел, используя явление интерференции света, сделать видимым незаметные неоднородности воздуха, возбужденного звуком. Еще большей известностью пользовались так называемые фигуры Хладни. Наполеон несколько раз просил повторить опыты с этими удивительными звуковыми арабесками, и научная Европа долго повторяла изречение императора: «Хладни дал нам видеть звуки». Что на языке физика означало — в фигурах Хладни происходит визуализация узлов и пучностей стоячей волны, возбуждаемой в плоской мембране...

В опытах Теплера, по сути дела, реализуется мечта Кирхера — «воздух светится». Но станет ли светомузыкой наблюдаемая визуа-

лизация звука у Теплера или Хладни, если эти звуки будут организованы в музыку (рис. 2)?

Нет, поскольку в мире видимого психологически и эстетически значимыми для человека являются сигналы, организованные по своим, отличным от организации звука законам. Ограничимся в объяснении образным примером: будет ли иметь для немца смысл такой перевод русского слова «сзет» — «svet» (а не «Licht»)? Именно с такой ситуацией «буквального» перевода мы сталкиваемся при всех попытках физического трансформирования музыки в свет.

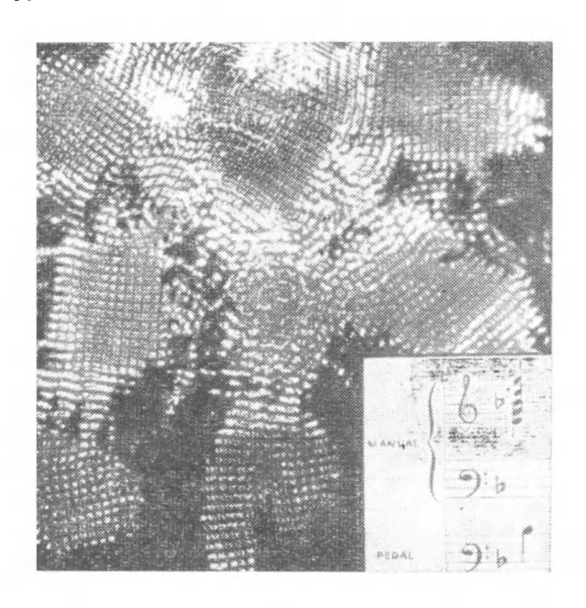


Рис. 2. Современный швейцарский ученый Ганс Йенни, получивший эти хладниевы фигуры при воспроизведении первых звуков 28 такта Токкаты ре минор Баха, называет их «видимой музыкой», но в то же время предупреждает, что глаз не способен сам по себе распознавать музыку по такому «абсолютно точному» визуальному переводу [Л. 53].

И если в речи, языке, перевод все же возможен (пословно, пофразно, по смыслу), то в искусстве проблема взаимоперевода, оказывается, вообще неразрешима. Определенней всего об этом сказано в теории информации: эстетическая информация — это «непереводимая, персональная информация» (А. Моль). Если при передаче научно деловой информации сообщению абсолютно безразличен способ ее воплощения в реальность, то в искусстве код и сообщение неразрывны. Перекодирование сообщения сопряжено в этом случае с обязательным его искажением, изменением («Война и мир» Про-

кофьева, «Война и мир» Бондарчука — это не «переводы» на язык музыки и кино толстовского романа).

Новое искусство должно основываться не на недостижимом стремлении перевода непереводимого, а на сознательном и преднамеренном синтезе звука и света в рамках единой музыкальной формы, по законам музыкальной логики [Л. 16]. При этом, как и в других синтетических искусствах, «образный строй произведения... не столько пользует существующие или несуществующие взаимные соответствия, сколько сам образно устанавливает для данного произведения те соответствия, которые предписывают образному строю идея и тема данного произведения» (С. Эйзенштейн).

Да, существующей музыке новое искусство обязано многим. Оно хоть и использует красочные формы, присущие прежде живописным искусствам, но по строению художественного образа близко к существующей музыке. И очень долго светомузыканты лишь слепо подражали ей. (История богата примерами трогательной наивности первооткрывателей. Первый паровоз в подражание человеку ходил на железных ногах).

Почти все экспериментаторы, идущие к новому искусству от музыки (и сами музыканты, и ученые), проходят через эту «детскую болезнь» — желание видеть в светомузыке обязательную «визуализацию» слышимой музыки.

Обладая так называемым «цветным слухом», великий русский композитор Скрябин, решился на «визуализацию» своих цветотональностных ассоциаций, создав на их основе световую строку «Luce» в партитуре «Прометея», первого в мире светосимфонического произведения. В первоначальных замыслах Скрябина основа синтеза по сути дела та же, что и у Кастеля (пусть уже хоть и не механически, а эстетически понятая): «музыка — аргумент, цвет — его функция». Уже современники Скрябина указывали, что значение строки «Luce» в «Прометее» сведено к простому «усилению впечатления гармонии», и что «Luce» играет роль как бы «огромного психофизиологического резонатора к впечатлению смены гармонии» [Л. 27].

Светомузыкальные композиции, несущие на себе след всех подобных устремлений к «визуализации музыки» (независимо от того, как и кем они ни создавались), можно узнать сразу — в них налицо первенствующее положение звучащей музыки. Свет всегда лишь сопровождает ее, он появляется на экране лишь при наличии звука, постоянно подражая ему во всех изменениях, и исчезает вместе с ним (что почти всегда раздражает зрение, так как глаз не привык к таким ритмо-динамическим переходам, которые для слуха обычны).

Светомузыка обещает стать вполне самостоятельным искусством. Ее нельзя считать непосредственно «визуализацией» существующей музыки так же, как кинематографию, например «визуализацией литературы».

И, конечно, только при последовательном отказе от идеи «визуализации музыки» окажется возможной реализация самых высокохудожественных приемов синтеза — слухозрительной полифонии, слухозрительного контрапункта (предмет следующих за «Прометеем» устремлений композитора Скрябина [Л. 4, 9, 10]). В наиболее полноценных, оригинальных, в подлинно светомузыкальных произведениях свет и звук могут выступать и солирующими партиями, и совместно, в параллель, и в противозвучии,

короче говоря, «переплетаться» в таких же сложных отношениях, какие мы привыкли иметь в традиционном оркестре.

Живопись→светомузыка («динамическая светоживопись»). Живопись — искусство *изобразительное, статическое,* воздействующее на *зрение* (размерность ее — L^2).

Сравните это с определением светомузыки. Разница огромная. Из подчеркнутых качеств совпадение в одном — *зрительное.* Но за истекшее столетие в последовательной эволюции экспериментов буквально на наших глазах живопись в некоторых своих областях трансформировалась так, что сомкнулась, наконец, со светомузыкой. Вот этапы этой эволюции: живопись — светоживопись — и динамическая светоживопись, которая уже могла совмещаться в своем развитии с музыкой.

В стремлении приблизиться к музыке, абсолютизируя выразительные свойства красок и форм, живопись прошла через импрессионизм, кубизм, а в творчестве художников-абстракционистов Делоне, Кандинского и других достигла, наконец, полной «раскрепощенности» от предмета.

Разумеется, беспредметная живопись возникла не по прихоти какого-либо художника. Она явилась логическим итогом вполне определенной тенденции.

Но не все художники сумели осознать смысл и значение назревающих преобразований в искусстве. Некоторые из них, открыв для себя беспредметную живопись, поверили в ее эстетическую самоценность, занимаясь конструированием цветовых отношений на полотне — в ущерб основным задачам, решаемым живописью как изобразительным искусством.

В то же время еще в самом начале века сумели иначе оценить эти эксперименты. Вот что писал А. Луначарский в своем обзоре о выставке художников-орфистов (так называли себя тогда живописцы, вслед за Кандинским имевшие намерение подчинить живопись «музыкальной» организации):

«Музыка колорита, симфония красок и линейные мелодии вполне мыслимы, в особенности в слиянии с музыкою звуков. Но динамика есть основа музыки. Чтобы сравняться с нею, тонкий художественный калейдоскоп лучших орфистов должен также стать динамичным... Пусть новаторы живописи дадут нам присутствовать при прекрасной игре линий и красок, ведущих между собою ту борьбу танцующих звуков, тот абстрактный хоровод, какой мы находим в музыке.» [1]

Это было сказано как раз в те годы, когда Скрябин написал «Прометей», и судя по всему независимо от Скрябина!

Луначарский предвосхитил будущее. Уже в двадцатые годы начались эксперименты с переходом от традиционной пигментной живописи к искусству цветного света — «светоживописи», использующей смешение цвета с помощью проекционной аппаратуры (подобной той, что предназначается обычно для демонстрации диапозитивов).

В чем же преимущество и особенности «светоживописи»? Ответить на этот вопрос можно, уяснив для себя, почему интереснее и приятнее смотреть на диапозитив с пейзажем, чем на его же отпечаток на фотобумаге. При восприятии пейзажа в реальных усло-

---

[1] А. Луначарский. Об изобразительном искусстве, Т. 1. М., «Советский художник», 1967, стр. 184.

виях широта его, т. е. интервал возможных яркостей, различаемых глазом, равна приблизительно 1 : 1000. Широта же любого изображения (картина, фотография) в лучшем случае 1 : 100, так как самые темные места его не абсолютно черны, а самые светлые — несравнимо менее ярки, чем самые яркие природные объекты (особенно самосветящиеся). Фотолюбители знают, как трудно «уместить» все оттенки снимаемого пейзажа в широту фотобумаги.



Рис. 3. Дисковый трафарет светового инструмента «оптофон» русского художника В. Баранова-Россинэ, начавшего экспериментировать в этой области с 1914 г.

У диапозитива же (если смотреть его на «свет» или проецировать на экран) широта намного выше — приближается к 1 : 1000, поэтому он воспринимается как более естественный, цвета у него глубже, сочнее, насыщеннее.

Проекционные аппараты позволили получить движение красочных форм, сделав реальностью «динамическую светоживопись» (В. Баранов-Россинэ и Г. Гидони в СССР, Л. Хиршфельд-Мак и К. Шфертфегер в Германии, Т. Уилфред в США и др.). На экра-

нах сконструированных ими светоинструментов воспроизводится игра цветных теней, получаемых при прохождении света через пространственные формообразующие элементы (трафареты). Творчество светохудожников сводится к созданию трафаретов и составлению программы их последовательного движения, чаще всего обеспечивающей циклическое повторение своеобразных «вариаций на тему возможных теней» через определенный промежуток времени (рис. 3).

Решая специфические задачи, многие современные светохудожники — Н. Шеффер во Франции, Ф. Малина в США, З. Пешанек и И. Свобода — в Чехословакии, группа «Движение» — в СССР относят свои эксперименты к области так называемого «кинетического искусства» (и термин, и само явление утверждаются лишь в последние годы). Как подсказывает само название, особенность этого явления состоит в том, что его художественным предметом является действие определенного кинетического объекта (подвижная скульптура из пластических элементов абстрактной формы или светоживописная композиция), находящегося в движении, запрограммированном художником.

Во многие подобные произведения сознательно вводится элемент «игры»: или сам зритель, или любое другое внешнее воздействие могут влиять на процесс управления этим кинетическим объектом [Л. 33]

Функцию такого внешнего воздействия может выполнять и звук. Если и раньше светохудожники часто сопровождали свои динамические композиции любой подходящей музыкой, пытаясь заполнить непривычный (при восприятии движущегося изображения) слуховой вакуум, то с развитием средств автоматики у них появилась возможность поручить управление «динамической светоживописью»... звучащей музыке. В результате были созданы такие установки, в которых развитие имеющихся световых эффектов находится в автоматической зависимости от изменения какого-либо из основных параметров музыки (например, ритма, громкости, высоты).

При подобном автоматическом совмещении с музыкой, да и при обычном сопровождении ею, результаты синтезирования по чисто внешним признакам близки к светомузыке, создаваемой и исполняемой музыкантом. Но только по внешним!

Если в подлинном, специально написанном светомузыкальном произведении, в каждом его такте развитие звука и света подчиняется единому художественному замыслу, то назначение и возможности автоматических установок иные — с помощью элементарных приемов синхронизирования добиться ощущения взаимосвязи между заданной циклически повторяющейся композицией «динамической светоживописи» и звуками любой воспроизводимой вместе с ней музыки.

Не претендуя на подмену подлинного искусства светомузыки, такие автоматические установки (наряду с другого рода кинетическими объектами) могут применяться при оформлении интерьеров и экстерьеров общественных зданий, городских площадей, выставок и т. п.

Разумеется, этот же светоживописный инструментарий может быть использован и для исполнения оригинальных светомузыкальных произведений в том случае, если динамикой светоживописи будет управлять человек, и если для каждого произведения будет создаваться свой набор необходимых трафаретов и приемов

извлечения света. Так, на Второй Всесоюзной конференции по светомузыке в 1969 г. с большим успехом демонстрировался подобный светоинструмент украинских художников-конструкторов Ю. Правдюка и С. Зорина (рис. 16 и 44). По аналогичным принципам работает и «музископ» Н. Шеффера (см. рис. 46).

Следует ожидать, что своеобразие техники и технологии получения изображения наложит определенный отпечаток на результат светомузицирования таким способом. Исполнение на подобном светоживописном, проекционном инструменте можно легко отличить от других (положим, на инструменте с растровой оптикой — более пригодном для «визуализации музыки»). Внимание слушателя-зрителя акцентируется в основном на живописных особенностях композиции, у него появляется возможность пристально рассматривать ее, поскольку фигуры на экране статичнее, не так часто и быстро меняют форму и цвет. Вообще свет не следует (а точнее сказать, не может следовать) за звуком во всех его изменениях, и понятно, почему художники, а не сторонники «визуализации музыки», первыми пришли к созданию подобных световых устройств.

Кинематография→светомузыка («беспредметный фильм»). Кинематография — *процессуальное, слухо-зрительное* и в основе своей *изобразительное* искусство (использует *конкретное* изображение, конкретные шумы, речь и, лишь как один из элементов, — музыку).

Светомузыку отличает от кинематографии лишь то, что она относится к *выразительным* искусствам (размерности у них одинаковые — L^2T), изображение на экране *абстрагируется,* а звуковая партия ограничивается *отвлеченным* же звучанием.

В самом начале развития кинематографии, когда она еще не осознала себя как самостоятельное искусство и металась между возможностью быть «сфотографированным театром», «видимой литературой», «ожившей живописью», вполне объяснимо и простительно было искушение проверить — а вдруг кинематография — это «оптическая музыка»? Еще в 1913 г. французский художник Л. Сурваж пытался снять фильм с ритмической игрой отвлеченных форм. Первый беспредметный фильм «Горизонтальная симфония» был создан в 1917 г. шведским художником В. Эггелингом. Вслед за ним В. Руттман и Г. Рихтер выступают с многочисленными немыми беспредметными кинокомпозициями. Если в обычном немом кино отсутствие звука восполнялось конкретностью изображения на экране, беззвучные беспредметные фильмы (чаще всего черно-белые или просто вирированные) не стали «оптической музыкой». Они воспринимались как не имеющее смысла комбинирование форм или, в лучшем случае, при внесении логики, как некая абстрактная пантомима, в которой действие разыгрывается между «абстрактными персонажами».

Но как только в подобных фильмах появился звук и развитие изображения было поставлено в зависимость от музыки, эти фильмы стали по сути дела светомузыкальными.

Кинематографию объединяет со светомузыкой и молодость, и то, что оба эти искусства относятся к пространственно-временным. Взаимосвязь между ними оказалась настолько тесной, что техника и приемы кинематографии, оказывается, целиком и полностью могут быть использованы для реализации светомузыки [Л. 4]. Но различие целей, разумеется, обязывает кинотехнику — при использовании ее в светомузыке — выявить в себе и иные, специфические возможности.

Техника кинематографии, как известно, предназначена в основном для фиксирования и воспроизведения на экране конкретных предметов и явлений, уже существующих в природе, так сказать, имеющихся в наличии.

При воспроизведении же светомузыки на экране должно быть такое сочетание форм и красок, каких нет в самой природе, но которые существуют в воображении человека (аналогично тому, как традиционный оркестр реализует замысел композитора).

Эта задача несравнимо труднее первой. Но решить ее оказалось все же возможно, обратившись к тому приему кинотехники, который был изобретен еще до первого фильма Люмьера — к мультипликации. Не исключено, конечно, использование и других способов воплощения светомузыки на киноэкране — положим, путем фиксирования отдельных световых фрагментов произведения для последующего их монтажа по партитуре с применением многократной экспозиции и других специальных приемов. Так, например, был снят фильм «Музыка и цвет» на студии им. Довженко. Аналогичные работы проводит и СКБ «Прометей» (г. Казань), снявшее первый в СССР светомузыкальный фильм — с использованием оригинальной технологии, в обычном кино неприменимой. Съемка производилась на черно-белую пленку с черно-белого же экрана съемочной модели, а конечный позитив получался с необходимым многокрасочным изображением [Л. 20, 21].

Светомузыка, воспроизводимая средствами кино, обладает сильно выраженными особенностями. В кинокадре возможно получение светокрасочной композиции практически любой сложности, как по структуре изображения, так и по характеру движения, чего никогда не может обеспечить ни один из возможных светоинструментов непосредственного исполнения.

Но все эти явные достоинства сопряжены с потерей магического воздействия эффекта присутствия, каковым обладают все музыкальные искусства, как исполнительские...

Итак — разными путями, но к одной цели подошли в своих предельных экспериментах музыка, живопись, кинематография. По пути было открыто немало новых эстетических явлений. Некоторые из них в чем-то обогатили искусство. Другие — исчерпали себя, подготовив дальнейшее развитие интересующей нас тенденции к синтезу: это идеи самостоятельной ценности беспредметной станковой живописи, идеи «оптической симфонии» в немом беспредметном кинематографе, идеи однозначного «перевода» слышимой музыки в видимую.

Было бы эстетическим невежеством отдавать предпочтение какой-либо из рассмотренных нами концепций синтеза.

Хотя и рискованно вводить в теорию искусства схему, но ради удобства объяснения построим треугольник, в углах которого мы видим уже знакомые нам сочетания слов (рис. 4).

Вся область внутри треугольника — это поле деятельности светомузыканта (разумеется, чем ближе к краю, тем сильнее воздействие пограничных влияний, искажающих облик, значение и смысл светомузыки). Но что тогда находится в центре треугольника, в чем истинная сущность и природа светомузыки?

Жест→светомузыка («инструментальная хореография»). При наличии естественного звукового генератора — голоса у человека отсутствует естественный генератор световых колебаний. Но человек, не излучая света сам, уже в давние времена мог управлять прост-

ранственной динамикой своего тела, освещаемого посторонним излучением (Солнца, Луны, костра).

Организуя движение тела в соответствии с музыкой, человек участвовал в танце, который являлся своеобразным пластическим отображением музыки. Таким образом, древние воспринимали музыку в одинаковой мере как слухом, так и зрением — танец и музыка были нераздельны [Л. 4, 5, 9].

Но, способный управлять своим телом в танце, человек не в состоянии был подчинить себе трепещущее пламя костра, не мог по-

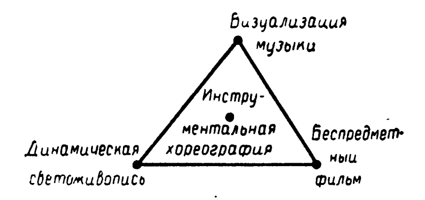


Рис. 4. Поле деятельности светомузыканта.

лучить картину «инструментальной хореографии», в которой уже не человек (с его ограниченными пластическими возможностями и «неотрывностью» от сцены), а орнаментальные красочные линии и фигуры взаимодействуют с музыкой в небывалом «танце». В «танце», который уже не подчиняется законам земного притяжения...

Разумеется, определение светомузыки как «инструментальной хореографии» условно (в той мере, насколько традиционную музыку можно считать «инструментальным пением»). Оно совсем не исключает — и даже наоборот, предполагает использование всех возможностей, которые открываются во всех известных направлениях синтеза (см. углы нашего треугольника). При создании светомузыки необходимо использовать и выявленные кинематографией возможности монтажа (смена планов по крупности и ракурсу), и законы живописной гармонии (все это, как известно, не присуще хореографии); при всем этом нужно будет подчинять развитие звука и света музыкальной логике и заключать его в единую музыкальную форму.

Но в определении «инструментальная хореография» раскрывается главное: каким должно быть движение живописных фигур и как оно должно соизмеряться с развитием звука.

Слышимая музыка, как известно, связана с интонациями человеческой речи и окружающего нас мира звучаний. Аналогично не любое движение красочных форм может стать светомузыкой, а только то, которое непосредственным образом несет в себе интонацию человеческого жеста и других движущихся форм и красок окружающей нас действительности. Вместе с тем при взаимодействии со звуком оно должно быть с ним интонационно согласовано — в каждый момент времени при восприятии звучаний и переменных световых форм должно соблюдаться условие достижения так называемого эффекта светозвука [Л. 7].

«Цветной слух» и эффект светозвука

Эффект светозвука заключается в том, что при данном совместном воздействии звука и света возникает: или иллюзия принадлежности этих раздражителей к одному процессу, или в более общем случае иллюзия существования причинно-следственной связи между этими по существу раздельными раздражителями.

В ином случае мы будем слышать и видеть два абсолютно независимых события. И естественно, тогда звук и свет будут лишь мешать друг другу.

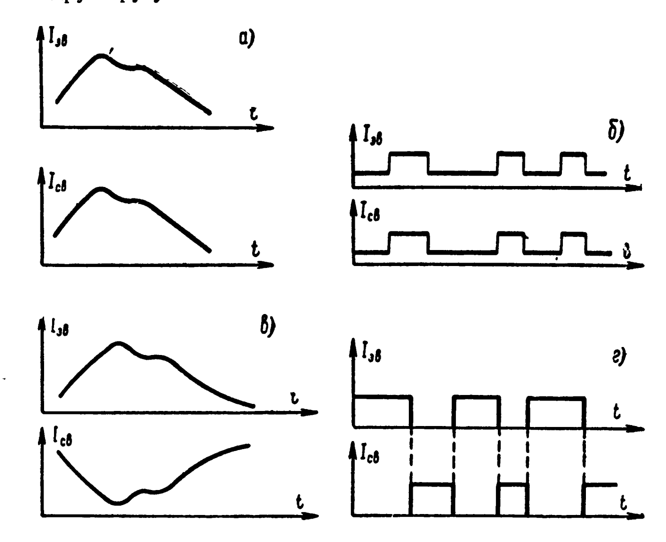


Рис. 5. Возникновение эффекта светозвука при синхронном изменении интенсивности звукового раздражителя ($I_{зв}$) и интенсивности светового раздражителя ($I_{св}$).

Эффект светозвука можно наблюдать уже при восприятии танца. И уже опыт танца показывает, что эффект светозвука невозможно свести к тривиальной ритмической синхронности движений света и музыки.

Вот, к примеру, наиболее простые случаи возникновения эффекта светозвука, когда сила света находится в прямой зависимости от силы звука (рис. 5, *а* и *б*).

Но при создании и исполнении светомузыкальных произведений выяснилось, что эффект светозвука возникает и при таком бисенсорном воздействии, когда наблюдается явление (психологическое) «переливания энергии из области одной модальности в другую» (рис. 5, *в*), в предельном случае переходящее в явление «замещения раздражителей» (рис. 5, *г*).

В самом же общем случае, хотя бы для первой половины определения эффекта светозвука, оказывается возможным записать условие его возникновения в виде формулы

$$\left|\frac{\Delta\overline{\Phi}_j(t)}{\Delta t}\right| = k_{ij}\left|\frac{\Delta F_i(t)}{\Delta t}\right|, \qquad (1)$$

где $F_i(t)$ — любой из параметров слухового воздействия (громкость, высота, величина мелодического интервала, степень вибрато и т. п.);[1]

$\overline{\Phi}_j(t)$ — любой из параметров зрительного воздействия (яркость экрана, размер пятна, цвет, радиус кривизны линии, скорость перехода одной формы в другую и т. п.);

k_{ij} — функция от времени, но более монотонная, может меняться согласно творческому замыслу композитора от физиологически допустимого максимума до нуля, что приводит к исчезновению эффекта светозвука.

Опыт показывает, что существуют более или менее предпочтительные сопряжения параметров $F_i(t)$ и $\overline{\Phi}_j(t)$.

Наиболее общие, наиболее вероятные сопряжения составляют шкалу так называемого «цветного слуха». Пока еще не проведены специальные исследования, но предположительно, исходя из данных музыкознания и психологии на основе исполнительской практики различных светомузыкантов, в ряду этих сопряжений можно выделить следующие общезначимые соответствия «цветного слуха»:

динамика звука	— динамика «светового жеста»;
мелодическое развитие	— пространственно-графическое развитие изображения;
тембровое развитие	— цветовое и фактурное развитие этого изображения;
тональностное развитие	— цветовое развитие всей видимой картины, ее колорита;
движение по регистрам	— изменение размера и сопутствующая этому концентрация света (изменение яркости пятна).

Динамика звука, организованного в музыку, включает в себя и темп, и собственно громкостную динамику. Для каждой из этих динамических характеристик музыки можно найти свои отдельные зрительные эквиваленты:

громкостная динамика	— это и изменение яркости и движение световой формы в глубину (с чем связано изменение крупности плана);
темп музыки	— скорость движения или изменения, превращения световых образов.

И, разумеется, возможность временнóго развития звука и света прежде всего позволяет сопоставить

ритм в музыке	— ритм «светового жеста», развития изображения.

[1] Об основных элементах музыки подробнее см. гл. 5.

Для тех сопряжений, которые дифференцируются по качественным признакам, можно в принципе составить детализированные таблицы матричного типа (например, для тембров и цветов, тональностей и цветов), в которых также могут быть найдены свои общезначимые соответствия.

«Цветной слух» — этот частный случай синэстезии (соощущений), включает в себя в нашем определении все общезначимые слухо-зрительные ассоциации внепредметного содержания притом не только цветовые, но и пространственно-графические. Общезначимыми из огромного количества любых возможных слухо-зрительных ассоциаций являются лишь те, которые по физиологической природе представляют собой натуральный условный рефлекс любого порядка.

Не всегда можно объяснить природу каждого данного проявления «цветного слуха». Но для отмеченного ряда основных соответствий объяснения возможны. Например, видение «размеров» звучаний обусловливается закреплением общей в самой природе явления связью между размером тела-вибратора и высотой излучаемого им звука (поэтому для всех высокие звуки имеют малый «размер», низкие — большой).

Выводы последовательной критики «перевода» и «визуализации музыки» предупреждают, что светомузыка — это не буквальная материализация на экране соответствий «цветного слуха»; и композитор, если в том есть необходимость, волен отходить от них [Л. 8].

Конечно, только статистический анализ большого количества светомузыкальных произведений позволит выявить, как может распределиться вероятность отступлений от этих соответствий при обязательном соблюдении эффекта светозвука. Но сейчас уже с уверенностью можно предположить, что, например, вероятнее будет увидеть на экране устанавливаемую связь «громкость звука — насыщенность цвета», чем «мелодическое развитие — изменение освещенности всего экрана»...

Разумеется, чем более оригинально светомузыкальное произведение, тем меньше будут встречаться банальные, ожидаемые случаи соотношений параметров $F_i(t)$ и $\bar{\Phi}_j(t)$, тем свободнее будет меняться коэффициент k_{ij}, и тем чаще придется отступать вообще от этой формулы — в пользу второй половины определения эффекта светозвука. Это является обязательным при стремлении от слухо-зрительного унисона к слухо-зрительной полифонии.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ СВЕТОМУЗЫКАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

«Отдайте же человеку — человеческое, а вычислительной машине — машинное».

(Н. Винер, «Творец и робот»)

Блок-схема светомузыкального устройства

Итак, светомузыкант должен иметь в своем распоряжении определенный технический инструментарий, который позволил бы ему создать необходимой сложности свободноуправляемую светокрасочную картину, меняющуюся по яркости, рисунку, фактуре, глубине и цвету.

Этим требованиям отвечает устройство, приведенное на рис. 6. В этом устройстве *ПУ* — пульт управления; *БУ* — блок управления, в котором производится управление: через канал *Ц* — цветовыми характеристиками, через канал *Ф* — формообразованием, а через канал *Я* — яркостью изображения; *БУМ* — блок управления мощностью с соответствующими элементами *Ф, Ц* и *Я*; *ВОУ* — выходное оптическое устройство с элементами *Ц*, *Ф* и *Я* и экраном.

В блоке ВОУ соответствующие элементы могут располагаться так, как показано на рис. 7, где $Я_4$ — оптическое устройство, изме-

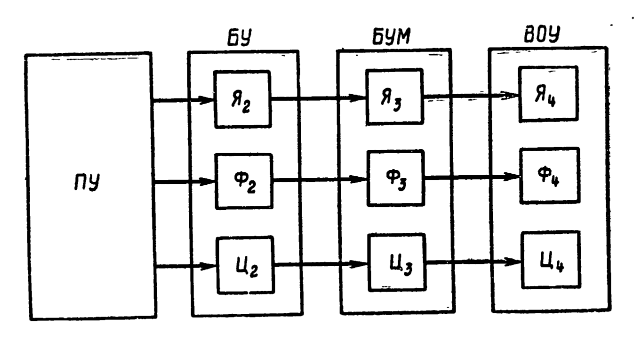


Рис. 6. Блок-схема светомузыкального устройства.

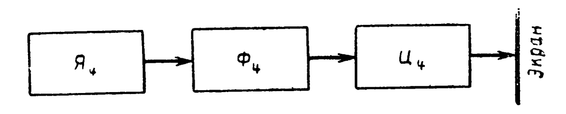


Рис. 7. Блок-схема ВОУ.

няющее световой поток (диафрагма, оптические клинья, ячейка Керра, сдвоенные поляризаторы и т. п.) или источник света — в случае управления им самим в электрической цепи. В первом случае $Я_4$ может меняться местами с $Ф_4$ и $Ц_4$ или совмещаться с ними; $Ф_4$ — формообразующие элементы, выполняющие функции своеобразных оптических запоминающих устройств (трафареты, кинофотопленка, деформирующая и направляющая оптика и т. п.); $Ц_4$ — светофильтры (абсорбционные, интерференционные, поляризационные), или дисперсионные и дифракционные устройства для разложения белого света в спектр (последовательность призм и т. п.).

Некоторые изменения испытывает схема, показанная на рис. 7, при использовании растровой оптики. Это связано с тем, что формообразование в данном случае происходит разверткой луча или коммутацией многих таких, как показано на рис. 6, параллельно соединенных устройств. Ограничение проводимого анализа проекционным вариантом не скажется на ходе рассуждений.

Не только конструктору, но и светомузыканту откроется многое при изучении особенностей и назначения каждого из элементов и каналов, показанных на схемах рис. 6 и 7.

В традиционной музыкальной практике звук обычно извлекался за счет энергии самого музыканта-исполнителя, чему, конечно, способствовало то, что эта энергия могла прямо, без трансформирования переходить в механическую энергию звуковых колебаний инструмента. Человек одновременно и снабжал музыкальный инструмент энергией и управлял им.

Лишенный же возможности «самосвечения» человек не мог извлекать достаточного количества света даже при наличии посредника, трансформирующего механическую энергию в световую. В результате возникла необходимость иметь дополнительный источник энергии, а за человеком осталась теперь лишь функция управления данным источником энергии. Следует ожидать, что отмеченное различие способов извлечения звука и света обязательно найдет свое отражение в творческой практике искусств, о чем мы можем пока лишь догадываться (и о чем предупреждает хотя бы опыт электронной музыки, в которой функции человека также сведены к управлению).

Итак, очевидно, что уже из-за отсутствия одного из элементов $Я_4$ в самом простом, «яркостном» канале инструмента прежде оказывалась невозможной работа всего светового инструмента.

Переворот совершило электричество. Только с его использованием смогли надежно и свободно функционировать оптические электромеханические устройства каналов *Ф* и *Ц* и, разумеется, канала *Я*.

Устройства, управляющие электрической мощностью, выполняются на реостатах, автотрансформаторах, магнитных усилителях, на электронных лампах и транзисторах, тиратронах и тиристорах...

Интересные закономерности выявляются при анализе основных способов технической реализации светомузыки.

В случае решения этой задачи средствами кинематографии каналы *Ф* и *Ц* совмещаются (одна пленка, один фильмопротяжный механизм; источник света работает в постоянном режиме). Количество манипуляций оператора на блоке ПУ сводится к минимуму (включение и выключение аппарата), вместе с тем на экране может воспроизводиться сложнейшее сочетание красочных форм. Но этому должна предшествовать огромная предварительная работа по созданию цвето-формообразующего элемента, демонстрируемой кинопленки (с чем связано, как известно, полное исключение эффекта присутствия).

Напротив, при желании предельно увеличить исполнительский момент и иметь на экране сиюминутную визуализацию «всего, что душе угодно» можно использовать инструмент с растровой оптикой. Блок ПУ такого инструмента обычно повторяет структуру растра, что приводит к очень большим трудностям в управлении световой картиной при увеличении его разрешающей способности. Поэтому имея даже идеальный растровый инструмент, при непосредственном исполнении музыканту-оператору очень трудно получить на экране картину той сложности, какую можно получить с помощью кинопленки. Таким образом, при разных технических способах реализации светомузыки композитор должен учитывать их особенности и исходить из них.

Светомузыка как искусство временно́е может исполняться на световых инструментах, а как искусство пространственное может быть зафиксирована на кинопленке, и что еще существенней, может создаваться средствами и методами кино.

Вне сомнения, и метод непосредственного исполнения, и метод кино не исключают друг друга, так же как не исключают, например, друг друга непосредственная игра актера в театре и игра актера в кино, запечатленная на пленке. Для каждого из этих методов будут создаваться свои специфические светомузыкальные произведения.

В промежуточном положении находится техника «динамической светоживописи».

Оператор имеет достаточно большой, но конечный набор устройств, работающих по схеме, приведенной на рис. 6, соединенных так, как показано на рис. 8.

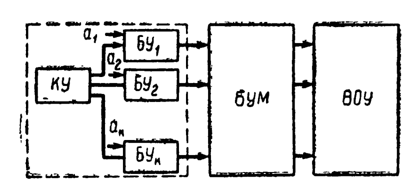


Рис. 8. Идеальный светомузыкальный проекционный инструмент.

Все блоки *ПУ* этих устройств связаны в одно коммутационное устройство *КУ* (клавиатура и т. п.), и оператор, поочередно или одновременно, согласно партитуре создает на экране необходимые свето-теневые проекции, используя заранее подготовленные формообразующие элементы. Но при этом исполнитель может менять скорость и характер перемещения фигур, их цвет, яркость, по-различному комбинировать их. В случае, если световая партия окажется сложной в исполнении, управление может быть поручено сразу нескольким операторам или запоминающему устройству, с помощью которого можно одновременно воспроизводить исполненные отдельно фрагменты световой партии.

Пределы автоматизации светомузыкального синтеза

Среди некоторых конструкторов и ученых существует мнение, что светомузыка — это и есть то искусство, в котором не только возможно, но просто необходимо использовать принципы машинного сочинения. Они считают, что Скрябины — явление временное, и что, в конце концов, их можно заменить автоматами, конечно, не такими простыми, какие существуют сейчас, а более сложными, совершенными.

Разумеется, при создании оригинальных светомузыкальных произведений эта точка зрения является столь же проблематичной, как и в применении к другим видам искусств. «Возможно, — считает академик А. Колмогоров, — что автомат, способный писать стихи на уровне больших поэтов, нельзя построить проще, чем промоделировав все развитие культурной жизни того общества, в котором поэты реально развиваются».

Но, может быть, при решении более скромной задачи — создание светового сопровождения к уже существующей музыке, оправдают себя намерения «машинопоклонников» (термин Н. Винера).

К примеру, в схеме, показанной на рис. 8, возможно на все блоки *БУ* подавать управляющие сигналы, формируемые анализаторами музыки a_k, определяющими и классифицирующими в каждый момент времени основные характеристики звучащей музыки — тембр, ритм, громкость, высоту, темп, тональность и т. п.

Опираясь на рассмотренный ранее ряд основных соответствий «цветного слуха», можно автоматически воспроизвести на экране такое световое сопровождение, которое постоянно обеспечивало бы соблюдение эффекта светозвука и являлось бы предельным, самым сложным случаем «визуализации музыки», не противоречащей представлениям «цветного слуха» большинства людей.

Но данное световое сопровождение никак не может быть высокохудожественным, и не только потому, что в нем все время реализуется лишь «слухо-зрительный унисон». Оно несравнимо с «человеческим» сочинением потому, что в процессе творчества с целью достижения определенного художественного эффекта композитор волен отступать от наиболее вероятных, часто встречающихся проявлений эффекта светозвука и выбирать из маловероятных, небанальных те, которые для него неповторимы и единственно необходимы. В сущности повторяется ситуация, сложившаяся сейчас в области кибернетического «сочинения» обычной музыки. «Чем полезна такая музыка? — спрашивает советский ученый В. Иванов. — Она прекрасный пример того, как не должны писать люди. С помощью машины имитируется человеческая посредственность. Мы как бы получаем точную математическую формулировку того, что уже стало стандартом, по которому работают ремесленники».

Конечно, возможно и управление коммутационным устройством в схеме, показанной на рис. 8, поручить машине, которая, *имитируя творчество*, время от времени стала бы моделировать согласно данным статистических исследований и редко встречающиеся проявления эффекта светозвука, меняла бы значение коэффициента k_{ij}. Но если у композитора эти «отступления от правил» сознательны, подчинены какому-то единому художественному замыслу, то у кибернетического устройства, не обладающего всей биологической и социальной памятью человека, они не могут быть не случайными и поэтому *бесцельны*.

Так что и создание высокохудожественных световых сопровождений остается за человеком-творцом. Но вместе с тем возможна самостоятельная область автоматического синтезирования музыки и света, когда музыка сама управляет динамикой имеющегося набора световых эффектов, пусть не подчиненных в своем развитии единому художественному замыслу, но создающих определенный зрелищный эффект.

Элементы автоматики найдут, очевидно, применение и в инструментах непосредственного исполнения. Когда это не противоречит партитуре, музыкант-исполнитель может с помощью КУ переходить на автоматический режим по управлению некоторыми световыми параметрами (например, часто используется в инструментах фиксируемая связь «громкость — яркость»), с возможной коррекцией и полным переходом на автономное «ручное» управление.

Оставим за собой право мечтать: когда-нибудь кибернетическое устройство, уже равноценное человеческому мозгу, возможно, и сумеет само сочинять и музыку, и световую партию. Но пока, как отмечают исследователи, если говорить о звуковой музыке, машины моделируют «лишь нотные тексты, но не сам процесс композиции». И аналогично, в светомузыке — пока автоматы могут моделировать лишь эффект светозвука в различных его проявлениях, но отнюдь не сам процесс светомузыкального творчества [Л. 12, 31, 41].

Итак, рассуждая о светомузыкальных устройствах, следует точно оговаривать — к какому типу они относятся.

Светомузыкальные инструменты имеют пульт управления и клавиатуру для музыканта, исполняющего оригинальную световую партию, написанную специально и только для этого произведения.

Автоматические светомузыкальные установки работают по определенной, заложенной в ее блок управления программе (жесткой или сменной с имитацией творчества). Предназначены они для решения более скромных задач прикладного назначения (декоративные приставки к магнитофонам, радиолам, оформление интерьеров, приборы для исследований в области психологии и экспериментальной эстетики).

Показательно, что в американской литературе первый тип устройств иногда называется «color organ» (цветовой орган), а второй — «colorgan» (гибридное соединение тех же слов, довольно точно отражающее цели и возможности подобных установок).

Мы же будем их различать в этой книге как СМИ и АСМУ.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ВЫХОДНОЕ ОПТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО (ВОУ)

«... но быстро привиденья.
Родясь в волшебном фонаре
На белом полотне мелькают.»
(А. С. Пушкин, «Послание Юдину»)

Казалось бы, ВОУ — самый простой в светомузыкальных устройствах блок. Именно эта кажущаяся простота и демобилизует обычно конструктора, особенно, если он имеет смутное представление о художественной цели эксперимента. Именно она заставляет его добиваться невероятных ухищрений при разработке электронной схемы и в то же время делает безрассудно равнодушным к тому, что же в конечном итоге будет происходить в ВОУ. В этом проявляет себя не что иное как опасная болезнь «конструкторского формализма»

Во многих технических статьях о светомузыке (взять хотя бы журнал «Радио», «Electronics World», «Le Haut-Parleur») приводятся подробнейшие схемы всех электронных узлов, а о ВОУ обычно ни слова, или мимоходом, как о чем-то второстепенном, необязательном.

И радиолюбитель зачастую удовлетворяется добросовестным монтажом электронной схемы, не придавая значения ВОУ. А ведь конечный результат всей работы — не электронная схема. Не ею же, в конце концов, должен любоваться зритель, а той красочной картиной, которая сопровождает музыку на экране ВОУ.

Именно этот блок требует сейчас наибольшей концентрации ресурсов конструкторской мысли. Электроника же ни в коем случае не должна превращаться в самоцель, а скромно скрывшись за определением «прикладная», должна способствовать решению поставленных художником задач. Если уж на то пошло, существует немало СМИ, остроумных по своему конструктивному решению и впечат-

ляющих по действию, в которых нет ни одного транзистора или электронной лампы. И наоборот, известны сложнейшие электронные установки (даже «кибернетические» — с легкой руки журналистов), которые хорошо справляются с одной лишь задачей — раздражать зрение...

В лучших светомузыкальных устройствах электроника и светотехника выступают в единстве, в равной мере содействуя достижению необходимого художественного эффекта. Но, начиная работу над светомузыкальным устройством, следует прежде всего продумать конструкцию ВОУ, которая во многом определяет функциональную схему электронных узлов БУ и БУМ.

Свет и зрение

Цветной свет, организованный в определенные формы различной фактуры, изменяющиеся во времени, является тем материалом, которым пользуется в своем творчестве светомузыкант.

Разумеется, в реальных условиях конструктор не всегда может и должен предварять подробными светотехническими расчетами все этапы разработки ВОУ. Но конструирование только по наитию сопряжено с бесконечными переделками и почти всегда приводит к разочарованиям, переносимым зачастую почему-то на само искусство светомузыки. Обращение к графикам, таблицам, формулам должно сочетаться с использованием разного рода оптических замеров и, естественно, с постоянными визуальными проверками результата по принципу «посмотрим, что получится».

В количественном отношении воздействие света определяется следующими световыми величинами.

Световой поток Ф определяет мощность излучения, которая оценивается по световому воздействию на глаз человека (измеряется в люменах). К примеру, световой поток лампы накаливания в 25 *вт* равен приблизительно 250 *лм*, стеариновой свечи примерно 10 *лм*.

При создании ВОУ важно знать, какой световой поток приходится на единицу площади S освещаемого экрана. Освещенность характеризует плотность распределения светового потока по поверхности (измеряется в люксах). Для случая равномерной прямой засветки:

$$E = \frac{\Phi}{S} \left(1\ \text{лк} = \frac{1\ \text{лм}}{1\ \text{м}^2}\right).$$

На экран попадает обычно лишь часть светового потока Ф, заключенная в определенном телесном угле ω.

Распределение светового потока в пространстве, его плотность в данном направлении характеризуется силой света I (измеряется в канделах):

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \left(1\ \text{кд} = \frac{1\ \text{лм}}{1\ \text{стер}}\right).$$

Для случая идеального точечного источника света (т. е. имеющего форму точки) освещенность для всех направлений равна $E = I/R^2$.

Таким образом, с увеличением расстояния R от такого источника света освещенность площадки, нормальной к лучам, падает пропорционально квадрату расстояния.

В реальных же источниках света в разных направлениях излучается неодинаковый световой поток, причем эта неравномерность создается иногда уже сознательно, путем преднамеренного направления света в одну сторону (системой отражателей и линз).

Конец вектора I_α, пропорционального по длине силе света в направлении α, описывает кривую (или индикатрису) **силы света**.

Теоретический подсчет светового потока, излучаемого в сторону экрана, во многих случаях может оказаться затруднительным. Поэтому освещенность (а если надо, и световой поток, падающий на экран) легче всего определить путем непосредственных измерений с помощью люксметра (наиболее распространенные марки ЛМ-3, Ю-16 и Ю-17). Если же достаточно знать лишь относительные изменения освещенности экрана, можно использовать и обычные фотоэкспонометры.

Но знание освещенности еще не позволяет определить степень зрительного воздействия.

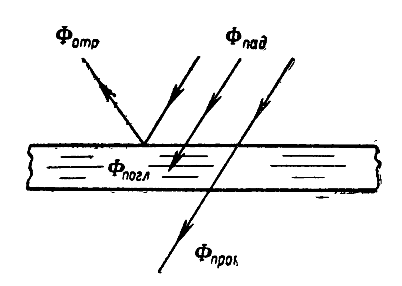


Рис. 9. Поведение светового потока, упавшего на поверхность.

$\Phi_{пад}$, $\Phi_{отр}$, $\Phi_{погл}$, $\Phi_{проп}$ — соответственно подающий, отраженный, поглощенный и пропущенный предметом световые потоки.

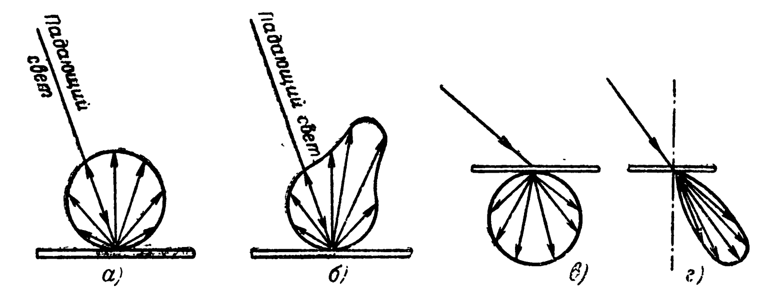


Рис. 10. Диффузное (*а*) и направленно-рассеянное (*б*) отражение; диффузное (*в*) и направленно-рассеянное (*г*) пропускание света.

Предположим, что свет из проектора падает на одинаковые по площади экраны из черной и белой бумаги. Экраны в данном случае являются объектом наблюдения. Они сами теперь излучают в сторону зрителя свет, только свет этот отраженный. И при равной освещенности экранов зритель почти ничего не увидит в случае с черным экраном, а от белого может получить достаточное количество отраженного света.

Оказывается, кроме освещенности, необходимо знать и более важное для нас понятие **яркости** *B* поверхности, которое характеризует силу света, излучаемого единицей площади этой поверхно-

сти. Из всех световых величин зрение непосредственно реагирует только на яркость. Можно рассматривать яркость самосветящихся тел (Солнце, нить накала лампы) и тел, светящихся чужим, отраженным излучением (Луна, киноэкран). Измеряется яркость в канделах на квадратный метр и апостильбах (асб). 1 *нт* = π *асб*.

Если рассматривать интересующий нас случай свечения экрана, яркость B, естественно, будет связана со значением освещенности. Зависит она и от угла, под которым наблюдается эта поверхность, и от качества самой освещаемой поверхности — блестящая, матовая, светлая, темная, прозрачная, полупрозрачная.

«Излучательная» способность отражающих поверхностей характеризуется коэффициентом отражения ρ, который определяется как отношение $\Phi_{отр}$ к $\Phi_{пад}$ (рис. 9). При работе с просвечивающимися экранами соответственно необходимо знать значение коэффициента пропускания τ. (В самом общем случае, если учесть еще и значение коэффициента поглощения β, сумма $\beta+\rho+\tau$ всегда равна единице.)

Для отражающего экрана с идеальной матовой поверхностью (рис. 10, *а*)

$$B = \frac{1}{\pi} \rho E,$$

где B измеряется в канделах на квадратный метр, а E — в люксах.

Соответственно для идеального матового экрана, работающего на просвет (рис. 10, *в*),

$$B = \frac{1}{\pi} \tau E.$$

В реальных же условиях, учитывая кривую силы света (рис. 10, *б* и *г*), коэффициенты τ и ρ следует заменить на коэффициенты яркости r_α:

$$B_\alpha = \frac{1}{\pi} r_\alpha E. \qquad (2)$$

Индексы α указывают на то, что значение коэффициентов яркости зависит от угла наблюдения α, причем коэффициент r_α в отличие от τ и ρ больше единицы, но лишь в пределах какого-то телесного угла и, разумеется, за счет того, что при других α он может принимать значения намного меньше единицы (рис. 26 и 27).

Известно, что глаз реагирует на очень широкий диапазон яркостей, крайние значения которых различаются более чем в 10^{10} раз. Но он не может воспринимать весь этот диапазон *одновременно*. В одном изображении нельзя использовать контрасты яркостей таких порядков, нельзя менять во столько раз яркость экрана в ходе исполнения светомузыкального произведения. В процессе восприятия глаз меняет свою чувствительность и, приспосабливаясь (адаптируясь) к преобладающему уровню яркости ($B_{ад}$), уже не способен нормально функционировать в тех областях, которые выходят за определенный рабочий участок диапазона. Если глаз, положим, адаптирован на 3 *кд/м²*, то детали изображения с яркостью менее 0,3 *кд/м²* будут казаться черными. Если же адаптация проведена на уровне 0,03 *кд/м²*, то отчетливо различаются как серые тона и детали с яркостью до 0,001 *кд/м²*, а воздействие 3 *кд/м²* уже вызовет слепящий эффект.

Весь интервал яркостей, который глаз может различать одновременно, составляет 1 : 10 при наиболее низких уровнях и 1 : 1 000 при наиболее благоприятных уровнях (соответствующих дневному свету). Точных данных, как меняется ширина этого рабочего участка яркостей в зависимости от уровня $B_{ад}$ еще не имеется.

Если световая адаптация (при переходе от темноты к свету) происходит быстро, в секунды, то темновая адаптация (при переходе от света к темноте) протекает медленно, от нескольких минут до часа. Поэтому если при исполнении светомузыкального произведения зритель сравнительно спокойно примет яркую вспышку экрана (чувствительность при этом резко падает), то при возвращении на прежний уровень яркости в течение некоторого времени большинство световых нюансов, вся последующая игра полутеней просто не будут восприниматься (пока глаз не восстановит свою чувствительность).

Нормальному протеканию процесса темновой адаптации способствует не резкое, а медленное, постепенное уменьшение уровня общей яркости (за 10—12 *сек*, например, гаснет полностью свет в кинозале, подготавливая зрение к новому режиму работы в зоне более низких яркостей).

Опыт кинематографии подсказывает, что восприятие движущегося изображения зависит от близости зрителя к экрану — при этом меняется угловая скорость перемещения видимых форм относительно глаза. Именно на угловую, а не на линейную скорость реагирует глаз, именно с ней связана заметность движения.

Минимальная скорость перемещения объекта равна 15—20 угловым минутам в секунду — если предмет воспринимается сам по себе изолированно, и 1 угловой минуте в секунду, если он дан на фоне других неподвижных предметов.

Максимальная скорость, при которой движение форм сливается в сплошную полосу, равно 1,4—3,5 градуса в 0,01 *сек*.

Этими предельными величинами и нужно руководствоваться при создании формообразующих элементов ВОУ и управлении ими.

Свет и колориметрия

В качественном отношении различные световые потоки могут отличаться по цветовому тону, который определяется длиной волны λ светового излучения в миллимикронах.

Основные цвета, имеющиеся в природе, представлены в спектре, наблюдаемом при разложении света призмой, например, или дифракционной решеткой.

Принято, согласно существующей классификации цветов, подразделять спектр на следующие диапазоны (табл. 1):

Таблица 1

Цвет	Диапазон, *ммкм*	Цвет	Диапазон, *ммкм*
Фиолетовый	390—450	Желто-зеленый	550—575
Синий	450—480	Желтый	575—585
Голубой	480—510	Оранжевый	585—620
Зеленый	510—550	Красный	620—800

Глаз является спектральноизбирательным приемником светового излучения, и чувствительность его неодинакова к свету с различной длиной волны

Если, положим, взять одинаковое по мощности спектральное излучение зеленого, красного и синего цветов, то, освещая ими равные площадки, можно увидеть, что зеленая площадка будет казаться более яркой по сравнению с красной, и тем более — с синей. Для создания равного ощущения яркости необходимо увеличить интенсивность синего и красного излучения, причем увеличить во столько раз, во сколько раз меньше чувствительность глаза к синему и к красному цвету по сравнению с зеленым.

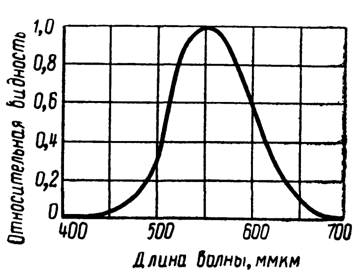


Рис. 11. Кривая видности сред. неадаптированного глаза.

Кривая видности (рис. 11) показывает, как меняется спектральная чувствительность глаза в видимом диапазоне (максимум приходится на желто-зеленый цвет с длиной волны $\lambda = 555$ *ммкм*).

За пределами 390—800 *ммкм* электромагнитное излучение (каковым по природе является свет) уже не оказывает на глаз никакого зрительного воздействия, какой бы мощностью оно ни обладало.

Для спектрального излучения в данном участке $\Delta\lambda$ световой поток $\Delta\Phi_\lambda$ (в люменах) прямо пропорционально связан с мощностью излучения ΔF_λ (в ваттах):

$$\Delta\Phi_\lambda = k_\lambda \, \Delta F_\lambda \, .$$

Для излучения с $\lambda = 555$ *ммкм* $k_\lambda = k_0 = 683$ *лм/вт* (световой эквивалент мощности). Для остальных λ необходимо ввести поправку $k_\lambda = k_0 \nu_\lambda$.

Отсюда

$$\Delta\Phi_\lambda = 683\nu_\lambda \, \Delta F_\lambda \, , \qquad (3)$$

где ν_λ — коэффициент видности (в относительных единицах).

Аналогичные поправки при работе с цветным светом следует ввести и для определения освещенности E_λ , и для яркости B_λ .

Для удобства работы с цветным светом вводится специальная классификация цветов.

Если «свернуть» видимый спектр, то он замкнется в круг — через пурпурный цвет, являющийся смесью крайних в спектре красного и фиолетового цветов. В центре полученного, таким образом, цветового круга Ньютона в точке *O* (рис. 1 на вкладке) находится белый цвет. При смешении с ним чистота или **насыщенность** цвета (обозначается *p*) падает, цвета ослабляются. При этом

$$p = \frac{\Phi_\lambda}{\Phi_\lambda + \Phi_б} \, ,$$

где $Ф_{\lambda}$ — световой поток излучения с длиной волны λ; $Ф_б$ — световой поток белого света, так что вдоль любого радиуса в этом круге располагается один и тот же цвет, но с меняющейся от 0 до максимума насыщенностью.

Если же смешивать цвета *А* и *Б* (например, зеленый и красный), то получится другой цвет (желтый), лежащий на линии *АБ*. При этом для зрения абсолютно все равно — получен этот желтый цвет путем смешивания красного и зеленого или это световое излучение с длиной волны $\lambda_{желт}$.

В диаметрально противоположных точках цветового круга располагаются так называемые дополнительные цвета, которые при смешивании как бы уничтожают, «съедают» друг друга, давая белый цвет.

Приведенные здесь данные показывают, что световой поток любой цветности может быть получен путем смешения трех каких-либо основных цветов, роль которых может выполняться любыми цветами, лишь бы внутри треугольника, построенного на точках, соответствующих их длине волны, находилась точка *О*. Этому условию, например, удовлетворяют цвета красный — зеленый — синий (см. рис. 2 на вкладке) или пурпурный — желтый — голубой и не удовлетворяют красный — синий — голубой.

Употребляя понятие «смешение цветов», необходимо обязательно указывать, каким образом происходит это смешение по аддитивному (слагательному) или субтрактивному (вычитательному) способу.

Во всех приведенных выше примерах смешение происходит путем сложения цветовых потоков, т. е. аддитивным способом. При аддитивном смешении яркость увеличивается, а цвет результирующей смеси зависит только от цветовых характеристик слагаемых потоков. При смешивании красного, зеленого и синего цветов получаем смеси, показанные на вкладке, рис. 3.

Принцип субтрактивного смешения цветов поясняется на вкладке (рис. 4). На цветной пурпурный фильтр падает белый свет, (условно сумма красного, синего и зеленого цветов). Пурпурный свет (красное плюс синее) проходит через него, а зеленый им поглощается. Последующий желтый фильтр поглощает синие лучи, и если оставшийся красный свет пропустить через голубой фильтр, то через него уже ничего не пройдет.

Результаты субтрактивного смешения рассмотренных в данном примере цветов пурпурный — желтый — голубой представлены на вкладке (рис. 1). При таком смешении (в отличие от аддитивного) интенсивность результирующего потока уменьшается, а цветность его зависит не только от характеристики фильтра, но и от свойств самого пропускаемого через фильтр света.

Конструктору-светомузыканту приходится иметь дело как с аддитивным, так и субтрактивным смешением цветов.

Поскольку источников света, излучающих окрашенный свет, очень мало (некоторые газоразрядные лампы, лазеры), цветной свет приходится получать с помощью субтрактивного метода (левая часть рис. 12).

При желании получить на экране изображение с меняющимся цветом следует обращаться уже к приемам аддитивного смешения (правая часть рис. 12), поскольку на практике трудно изготовить фильтры, у которых менялась бы полоса пропускания.

При аддитивном смешении результирующий цвет зависит от того, в каких пропорциях взяты основные цвета (по международной системе, например, это: R — красный с $\lambda=700$ *ммкм*, G — зеленый с $\lambda=546{,}1$ *ммкм*, B — синий с $\lambda=435{,}8$ *ммкм*):

$$C = rR + gG + bB,$$

где r, g, b — трехцветные коэффициенты, показывающие, в какой пропорции надо брать единичные цвета R, G, B, чтобы получить определенный единичный цвет C.

Какими же по величине надо выбрать в этом цветовом уравнении единичные цвета R, G, B?

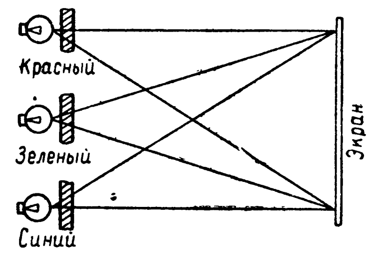


Рис. 12. Получение цветовой картины на экране.

Наиболее удобное практическое условие оптимального выбора, вероятно, состоит в том, чтобы эти единичные цвета, взятые в равных количествах, т. е. с равными по величине коэффициентами r, g, b в сумме дали белый свет.

Но это условие соблюдается лишь тогда, когда за единицу R взят поток 1 *лм*, G — 4,6 *лм*, а B — всего лишь 0,06 *лм*, поскольку для человеческого глаза экспериментально установлено, что при смешении равных количеств, положим, по 1 *лм* (именно люмену, а не ватту) этих основных цветов «побеждает» синий. Его «окрашивающая» способность при смешении цветовых потоков намного выше, чем у красного и тем более у зеленого цвета. (Этим как бы компенсируется малая чувствительность глаза к синей части спектра.) И только при соблюдении пропорций 1 : 4,6 : 0,06 эти цвета дадут белый цвет (для другой «тройки» основных цветов это соотношение будет иным).

Такие системы цветов, как круг Ньютона, не учитывают этой и других особенностей зрения и неудобны при решении конкретных задач. Гораздо удобней пользоваться общепринятым, специальным цветовым графиком МКО, имеющим вид криволинейного треугольника в координатной системе XY (рис. 5 на вкладке).

Сама кривая, носящая название локус, составлена из точек, принадлежащих цветам 100%-ной насыщенности. В точке $E(x=1/3, y=1/3)$ находится белый цвет. Как и в цветовом круге, линия, соединяющая E с любой точкой локуса, принадлежит одному цвету с меняющейся насыщенностью. Так как на практике светофильтры не могут обеспечить 100%-ную насыщенность, треугольники, составленные из полученных с их помощью цветов, могут охватить лишь часть поверхности графика МКО. Для увеличения этой площади и приближения ее границ к локусу приходится строить уже не треугольники цветов, а многоугольники (обозначено пунктиром). Поэтому многие конструкторы-светомузыканты, отказываясь от смешения далеко лежащих друг от друга цветов (что особенно нежелательно в криволинейной сине-зеленой области графика), не ограничиваются трехцветными источниками света, а подбирают по мере возможности максимальное количество фильтров разных цветов, близких к локусу, и

поочередно используют их без особого расчета на возможности аддитивного смешения.

Прежде всего это относится к инструментам, на экране которых цвет организован в фигуры, линии. При работе с бесформным цветом, где цвет является единственным средством воздействия, из-за необходимости гибкого и свободного управления цветом сохраняется целесообразность обращения к аналитическому решению цветовых многоугольников с последующим моделированием их с помощью электронных и электромеханических устройств. Это очень трудная задача, и не только для радиолюбителей — поскольку нужно добиться того, чтобы, изменяя цветовой тон, например, не влиять на насыщенность и яркость. Усугубляются трудности и тем, что кроме особенностей цветового зрения в каждом конкретном случае необходимо учитывать спектральные характеристики светофильтров и источников света [Л. 97—99].

Светофильтры

Для получения цветного света радиолюбители чаще всего используют светофильтры Цветные светофильтры представляют собой устройства, имеющие различные значения коэффициента пропускания τ_λ (или поглощения β_λ) в различных участках спектра. Обеспечить полосы пропускания, близкие к идеальным, прямоугольным, могут только зональные интерференционные фильтры, использующие явление интерференции в тонких пленках. Ввиду сложности технологии их изготовления они только недавно начали входить в широкое потребление.

На использовании явления интерференции построены и поляризационные фильтры — это как раз тот редкий случай, когда фильтр обладает переменной (управляемой!) полосой пропускания.

Естественный свет, как известно, представляет собой поперечные электромагнитные волны, плоскость колебаний которых произвольна и хаотична. Поляризатор пропускает только ту часть лучей, колебания которых ориентированы в одной плоскости. Вращая сдвоенные поляризаторы, можно регулировать свет от нуля до некоторого максимума. Если между двумя поляризаторами поместить пластинку из оптически анизотропного вещества, то за счет интерференции лучей, возникающей при двойном лучепреломлении, можно наблюдать явление так называемой хроматической поляризации. При вращении поляризаторов или пластинки (от 0 до 90°) плавно меняется цветность проходящего сквозь них света вдоль всего спектра.

В качестве поляризаторов могут использоваться призмы Николя или пластинки из турмалина. Анизотропными свойствами обладают, например, целлулоид и слюда. Если целлулоидную пленку разрезать на отдельные кусочки и наклеить ее под разными углами на обычное стекло в виде мозаики, то на экране возникнет настоящая цветовая феерия, меняющаяся в цветах при медленном вращении. Вместо целлулоидной пленки может использоваться органическое стекло или другой материал, становящийся анизотропным при механическом воздействии.

Недостаток поляризационных фильтров — их малый к. п. д., связанный с большим поглощением света в поляризаторах, — с лих-

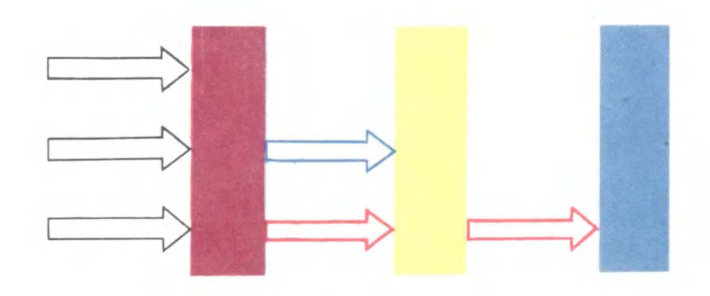


Рис. 1.

Рис. 2.

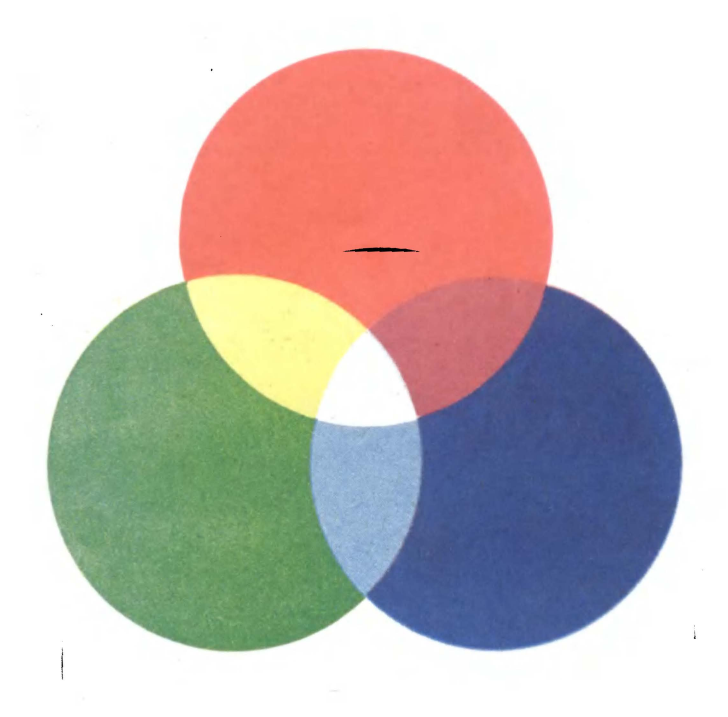


Рис. 3.

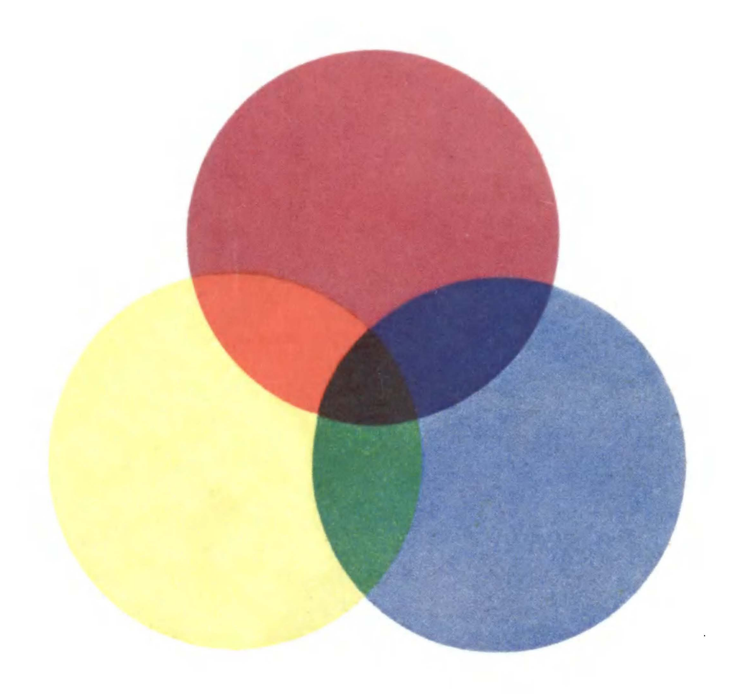


Рис. 4.

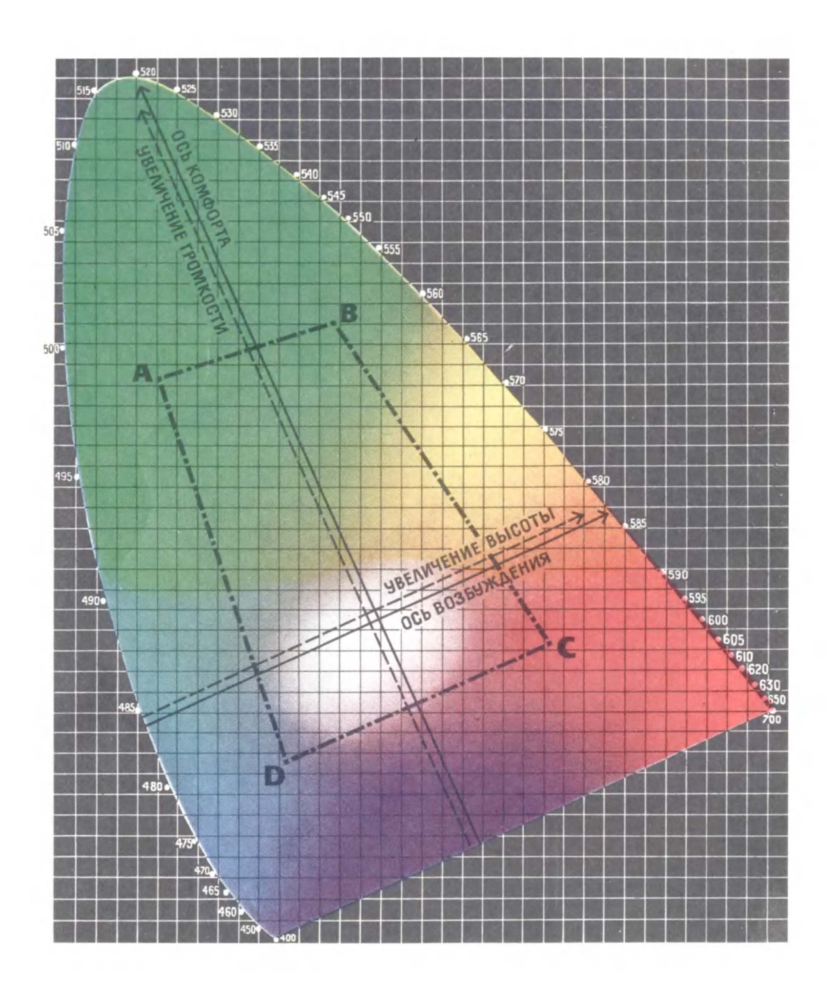

520
525
530
535
540
545
550
555
560
565
570
575
580
585
590
595
600
605
610
620
630
650
700
515
510
505
500
495
490
485
480
475
470
465
460
450
400
ОСЬ КОМФОРТА
УВЕЛИЧЕНИЕ ГРОМКОСТИ
УВЕЛИЧЕНИЕ ВЫСОТЫ
ОСЬ ВОЗБУЖДЕНИЯ
A
B
C
D

Рис. 5.

вой возмещается теми возможностями, которые открывает поляризация для светомузыканта. Недорогие демонстрационные наборы для опытов по поляризации можно приобрести в магазинах школьных учебных пособий.

Основным средством получения цветного света остаются абсорбционные фильтры, которые в зависимости от своего химического состава, избирательно поглощают одно излучение и пропускают другое.

Свойства светофильтра определяются кривыми пропускания (рис. 13, *а*) или кривыми поглощения (рис. 13, *б*), показывающими, как меняются коэффициенты τ_λ и β_λ по отношению к различным цветам.

Площадь, заключенная под кривой пропускания τ_λ, характеризует количество светового излучения, прошедшего через фильтр. Эта площадь, естественно, уменьшается, когда, стремясь добиться большей избирательной способности фильтра (т. е. большей насыщенности прошедшего света), увеличивают толщину и вместе с этим оптическую плотность фильтра (рис. 13, *а*, пунктир).

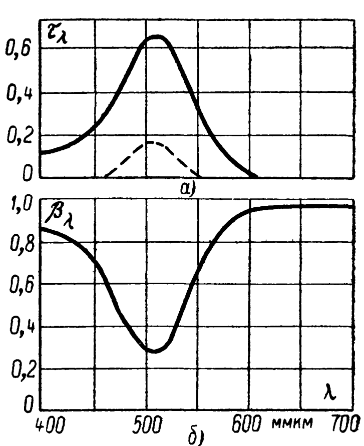


Рис. 13. Спектральные характеристики светофильтра.

Для светомузыкальных установок лучше всего, конечно, использовать стеклянные фильтры, причем выбранные по специальному каталогу цветного стекла, где указаны цветовые характеристики его по международной системе МКО и приведены кривые изменения τ_λ, β_λ.

Чаще всего приходится применять стандартные театральные фильтры из стекла. При нагревании эти фильтры (особенно синие при использовании ламп накаливания) сильно нагреваются и лопаются, и для предупреждения этого явления необходимо разрезать стекло на узкие полоски или охлаждать фильтры проточной жидкостью.

Для театров выпускается также большой набор ацетатных пленок различнейших оттенков (их можно приобрести в магазинах ВТО). Но следует иметь в виду, что они выдерживают еще менее значительные температуры, чем стекло, и при долговременной работе начинают выцветать (особенно синего цвета).

При отсутствии стеклянных и ацетатных фильтров можно изготовить жидкостные (водный раствор анилиновых красителей в плоской кювете) или целлофановые фильтры, окрашенные этим раствором. Радиолюбителю под силу изготовить и желофановые фильтры — размоченную желатину окрашивают анилином и, высушив в разлитом виде на стекле, снимают тонкую и довольно хрупкую пленку.

Пленочные фильтры можно закреплять между двумя стеклами или, изготовив из пленки небольшой стаканчик, надевать непосредственно на источник света.

В некоторых случаях, когда не требуется высокое качество цветообразования (управляемые под музыку елочные гирлянды и т. п.), можно окрашивать жидкими цветными цапоновыми лаками сами баллоны ламп. Цапон-лак любого оттенка можно изготовить самостоятельно. Для этого в ацетоне растворяют очищенную от фотослоя основу горючей негативной пленки. Затем в полученный таким образом бесцветный цапон-лак вливают также предварительно растворенный в ацетоне анилиновый краситель, используемый, например, при окраске тканей (следует, однако, учесть, что не все анилиновые красители растворяются в ацетоне). Цапон-лак начинает выгорать на обычных электрических лампах, если их мощность превышает 25 *вт*. Более теплостойкими зарекомендовали себя спиртовые лаки.

Об абсорбционных и поляризационных светофильтрах можно прочитать в [Л. 100, 101].

Формообразующие элементы ВОУ

Если между источником света и экраном поместить непрозрачный предмет, то на экране возникнет теневое изображение данного предмета. Конечно, теневая или, как ее еще называют, транспарантная проекция, основанная на подобном принципе, в отличие от диапроекции и эпипроекции, использующих линзовую оптику, не позволяет получать четких, со всеми необходимыми полутенями изображений. Но возможностями этого, простого в понимании и доступного в конструктивном решении способа формообразования отнюдь не следует пренебрегать.

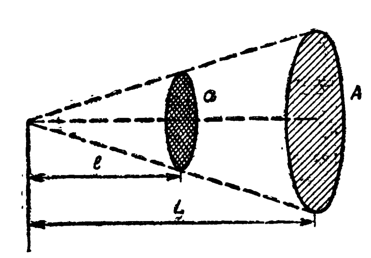


Рис. 14. Схема транспарантной проекции.

Размеры тени A, как видно из рис. 14, зависят от расстояния между лампой и трафаретом l таким образом:

$$\frac{A}{a}=\frac{L}{l},$$

где a — размер трафарета; L — расстояние между источником света и экраном.

Так что при малых l любое незначительное перемещение предмета относительно источника света (или наоборот) вызывает заметное изменение размеров тени и ее движение.

Резкость тени зависит от размеров светящейся поверхности, она тем резче, чем ближе источник света к точечному. Если же эти размеры значительны, изображение на экране получается с полутенями, так как тень от предмета создается каждой точкой све-

тящейся поверхности (рис. 15). Особенно большой и заметной становится зона размытости, т. е. относительная площадь полутеней, при приближении источника света к предмету.

Когда нить накала имеет сложную форму и большие размеры, на экране могут возникать очень интересные тени самой неожиданной конфигурации. Они могут причудливо меняться от вращения и покачивания лампы. Однако этот процесс формообразования не поддается управлению и весьма капризен, поскольку характер «причудливости» форм жестко связан с конструкцией лампы и не может

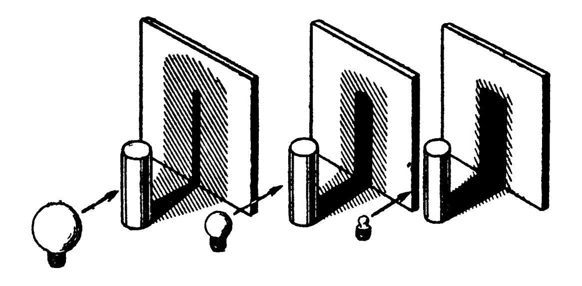


Рис. 15. Действие источника света с неточечным светящимися телами разных размеров.

быть изменен без обращения к другой лампе с иной формой нити накала.

Только при применении ламп с «точечными» нитями накала можно предсказать создаваемые ею теневые эффекты и повторить их в любых условиях.

Особенно сильное искажение теней наблюдается при использовании ламп с отражателями или с зеркальным покрытием на самой колбе. В некоторых случаях, особенно в АСМУ декоративного назначения, конструкторы сознательно выбирают такие лампы, причем с заведомо неточечной нитью накала, чем достигается увеличение причудливости и фантастичности получающихся теневых форм. Американский светохудожник Т. Уилфред даже изготавливал сам лампы с особыми «фигурными» нитями накала.

В конструктивном отношении трафареты теневой проекции могут быть самыми разнообразными.

Цилиндрические (или конические) барабаны с прорезями изготовляются из жесткого непрозрачного листового материала (дюралюминий, бумага, картон и т. п.), или из прозрачных пластиков, или стекла, на которые нанесен графический рисунок (рис. 16). Источники света устанавливают или внутри «барабана», или вне его — в этом случае свет проходит через трафарет дважды, что позволяет при вращении барабана получить двустороннее, встречное перемещение теней. Ось вращения может находиться как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости, в зависимости от чего меняется направление движения теней.

При использовании дисковых трафаретов интересный эффект получается при одновременном просвечивании их несколькими источниками света, одного или разных цветов (рис. 17). Разнообразие

и неповторяемость теней достигается совмещением двух или более вращающихся дисков. Направление вращения чаще всего выбирается таким, чтобы тени двигались навстречу друг другу. Расстояние между дисками берется по возможности минимальным, чтобы исключить различие в резкости теневых изображений от каждого из трафаретов. Следует учесть, что при одинаковой угловой скорости

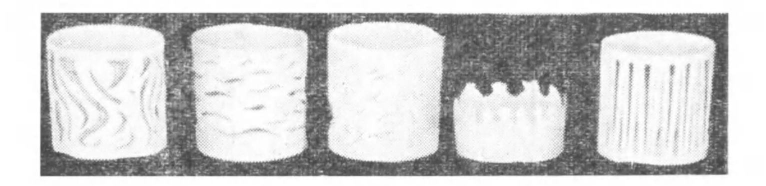


Рис. 16. Объемные трафареты СМИ Ю. Правдюка.

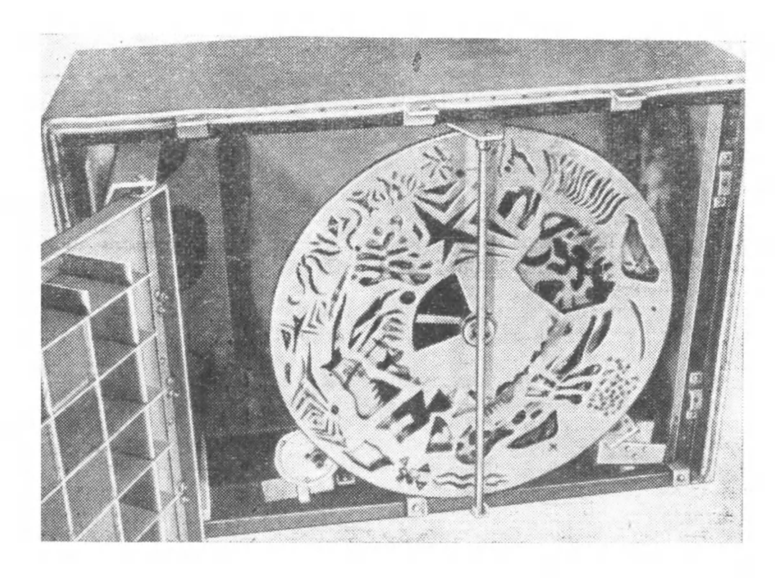


Рис. 17. Соосное крепление двух дисковых трафаретов АСМУ «Идель-3».

линейная скорость движущихся теней будет различной. Чем дальше от оси вращения установлен источник света, тем больше будет линейная скорость. Угловая скорость вращения трафаретов (да и барабанов тоже) должна быть очень небольшой — около 1—3 *об/мин* и менее.

Для достижения столь малых скоростей можно использовать любой из типов редукторов с фрикционной, зубчатой или червяч-

ной передачей. Электродвигатели размещают или на оси вращения, или у края дисков (барабанов).

Фигурные отверстия в трафаретах получают путем высверливания или выпиливания по данному рисунку, а при использовании картона или бумаги — выжиганием или вырезанием.

При создании плоских трафаретов эффективен и такой метод — стекло покрывают непрозрачной масляной краской, на которой затем выцарапывают необходимое изображение. Если же есть необходимость в рисовании акварельными красками или тушью, стекло должно быть покрыто впитывающим слоем, например желатином или прозрачным цапон-лаком. Готовый к употреблению прозрачный желатиновый слой имеется на фотопластинке, отфиксированной без предварительной экспозиции.

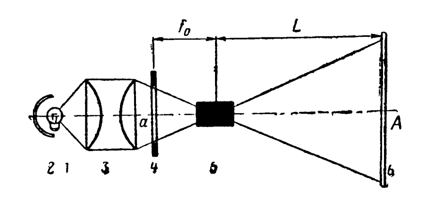


Рис. 18. Диапроекция.

1 — источник света; 2 — отражатель; 3 — конденсор; 4 — диапозитив, находящийся в фильмовом канале; 5 — объектив; 6 — экран.

Если возникнут затруднения с высверливанием в стекле отверстия под ось вращения, то к центру диска можно приклеить переходную шайбу, которая крепится к оси.

Диапроекция предполагает уже наличие специальной аппаратуры. Изготовить ее в любительских условиях довольно трудно и, вероятно, нецелесообразно. Существует большое количество разной мощности и стоимости фильмоскопов, диапроекторов («Этюд», «Свет», ЛЭТИ, «Протон», «Вымпел», «Горизонт»), кинопроекторов, которые после небольших переделок могут быть использованы в качестве ВОУ светомузыкальных устройств.

Принцип действия диапроекции поясняется рис. 18.

Размеры диапозитива a и изображения на экране A связаны друг с другом следующим отношением:

$$\frac{a}{A} = \frac{f_0}{L}.$$

В зависимости от того, что взято за исходную величину, можно определить или размеры A при данном L, или при этих известных длинах подбирать к проектору объектив с соответствующим фокусным расстоянием f_0. Но следует иметь в виду, что сокращение расстояния L путем использования короткофокусных объективов сопряжено с ухудшением качества изображения — искажением рисунка и возникновением неоднородности засветки экрана.

В светомузыкальных устройствах вместо неподвижного диапозитива в фильмовом канале помещаются подвижные трафареты, которые в отличие от трафаретов теневой проекции могут быть не только графическими и контурными, но уже со всеми возможными светотеневыми переходами.

Конструктивно эти трафареты могут быть такими же, как и при транспарантной проекции, только в меньших размерах и, соответственно, более тщательно и точно выполненными.

Вращающиеся барабаны могут помещаться на пути света различным образом (рис. 19). На этих рисунках представлен случай вращения барабанов вокруг горизонтальной оси (формы на экране движутся вверх и вниз). Так же как и при транспарантной проекции, их можно разместить и так, чтобы вращение происходило вокруг вертикальной оси.

На рис. 20, *а* ось вращения дискового трафарета находится в стороне, а в случае, показанном на рис. 20, *б*, прямо на пути луча — конечно, при этом приходится закреплять трафарет внутри охватывающего его кольца (технически это более сложная задача, особенно, если учесть необходимость регулируемого вращения такого трафарета).

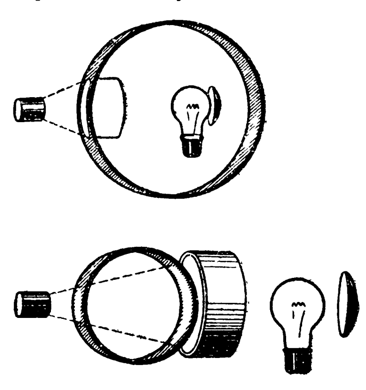


Рис. 19. Возможное расположение барабанных трафаретов при диапроекции.

Возможно совмещение двух и более трафаретов на пути одного луча (рис. 20, *а*, *б*, *в*), и наоборот — использование одного трафарета для нескольких пучков света (рис. 20, *г*).

При использовании диапроекции особенно перспективно применение стеклянных трафаретов с изображением, полученным с помощью фотомонтажа. Для этого на лист белого картона наклеивают фотоснимки минералов, жидких кристаллов в поляризованном свете,

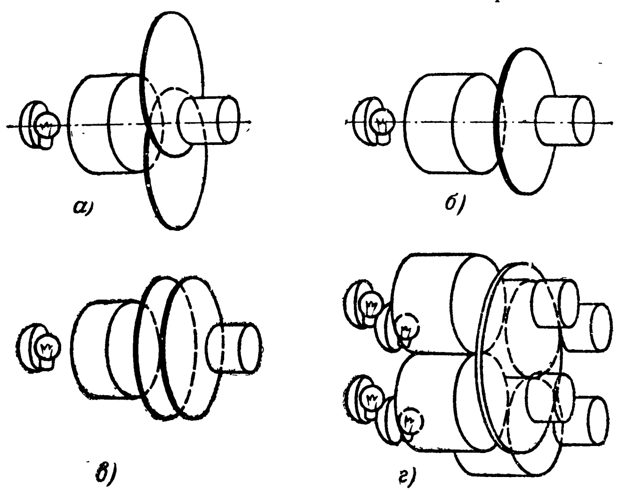


Рис. 20. Установка вращающихся дисков в фильмовом канале.

звездного неба, коры деревьев, микрофотографии структуры металлов, фрагменты репродукций абстрактных картин, орнаменты и т. п., соединенные в композиционно целостную последовательность. Этот коллаж переснимается на фотопластинку, из которой затем и вырезается трафарет.

Своеобразный эффект создают рельефные трафареты, изготовленные из прозрачных материалов с неровной поверхностью (например, декоративное стекло или мелкие линзы, наклеенные на пленку).

В некоторых светомузыкальных устройствах используют набор плоских кювет с прозрачной жидкостью, в которую в нужный момент впрыскивают краситель (тушь, анилин, чернила), что позволяет получать на экране разного рода взрывоподобные картины. Особый эффект создает взаимодействие несмешивающихся жидкостей. Как и во всех предыдущих случаях, следует иметь, конечно, в виду, что изображение на экране относительно диапозитива воспроизводится в перевернутом виде.

Многие зарубежные оркестры «поп-музыки» используют наборы так называемых «чернильных» слайдов (т. е. диапозитивов). На квадратные кусочки стекла наносят абстрактный рисунок чернилами, тушью или масляной краской. Затем два таких высохших стеклышка складывают рисунком внутрь и окантовывают бумагой, как обычный диапозитив. При резком включении света краски нагреваются и, если проектор достаточно мощный (1 *квт* и более), по очереди начинают кипеть, пузыриться, причудливо смешиваясь друг с другом. Понятно, что такого «разового» действия слайды с неуправляемым изображением пригодны лишь для ритмического сопровождения эстрадной и танцевальной музыки [Л. 32].

Самостоятельным приемом формообразования является использование подвижных зеркал (плоских, выпуклых, вогнутых), линз и другого рода деформирующих изображение элементов, помещенных на пути луча. В подобных случаях трудно руководствоваться теоретическими рекомендациями — конструктору приходится чаще всего полагаться на эксперимент, в ходе которого из всех получающихся световых эффектов им отбираются нужные, подходящие. Совмещение их с возможностями транспарантной диапроекции позволяет ввести столь необходимое для световой композиции ощущение движения света в глубину и изменение фактуры изображения. Без этого плоскостное движение теней на экране обычно начинает утомлять и раздражать зрителя, какой бы сложности и разнообразия данный плоский рисунок ни был. Своеобразной фактуры, хоть и нерезкое, получается изображение при проецировании света через объемные трафареты в диапроекторе со снятым объективом.

Каждый конструктор может дополнить, развить этот перечень приемов. Существенную помощь окажут ему изучение и использование светотехнической аппаратуры, применяемой обычно в театре и в аппаратах визуальной индикации (в принципе задачи здесь те же самые — получение на экране необходимого изображения). «Гостеасветом», например, серийно выпускаются эффектные приставки к обычным линзовым проекторам, работающие по схеме, показанной на рис. 20. Достаточно сменить в них стандартные театральные трафареты «дождя», «снега», «волн» на свои, оригинальные, как эти приборы превращаются в ВОУ светомузыкальной установки.

Вполне вероятно, некоторых читателей волнует такой вопрос: «Разве все это может иметь отношение к искусству — кюветы с

жидкостью, трафареты, моторчики?». Пусть это вас не смущает, слушаем же мы на концерте, как скрипач водит тугонатянутым конским волосом по овечьим жилам. Главное в искусстве — не сложность используемых средств, а как и для каких целей эти средства используются.

Много полезного можно почерпнуть разработчику ВОУ в периодических реферативных сборниках «Сценическая техника и технология», выпускаемых «Гипротеатром», и в книгах [Л. 102, 103].

Электрические исполнительные механизмы ВОУ

Электрические исполнительные механизмы (ЭИМ) ВОУ можно подразделить на две группы — соленоиды и микроэлектродвигатели.

Соленоидные ЭИМ могут работать при питании как переменным, так и постоянным током. Однако ЭИМ переменного тока имеют значительно худшие параметры (большие размеры при малой чувствительности и т. д.).

Двигатели в зависимости от конкретных целей и возможностей выбираются постоянного или переменного тока, с регулируемой или постоянной скоростью, реверсивные или нереверсивные.

Коллекторные двигатели постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов имеют большой диапазон регулирования скорости (при линейной характеристике), небольшие размеры и вес. Скорость регулируется в них при изменении напряжения питания якорной цепи, а реверсирование достигается путем изменения полярности управляющего напряжения. В двигателях с обмоткой возбуждения можно регулировать скорость, изменяя напряжение на этой обмотке. Для этого требуются меньшие токи, но такая система регулирования более инерционна.

Сельсины наиболее эффективно проявляют себя в СМИ, позволяя быстро менять скорость и направление движения оконечных элементов ВОУ.

Наибольшее распространение сейчас имеют асинхронные двигатели переменного тока. В ЭИМ используются маломощные асинхронные однофазные конденсаторные двигатели. Скорость у них регулируется в основном изменением напряжения, подводимого к двигателю, а направление вращения реверсируется путем изменения фазы напряжения в управляющей обмотке на 180°.

Синхронные двигатели переменного тока имеют высокую стабильность скорости вращения. При питании от однофазной сети они также требуют конденсаторного включения.

Все эти микродвигатели обладают большими скоростями вращения — сотни и тысячи оборотов в минуту. Для уменьшения ее повсеместно используют механические редукторы [Л. 104].

Источники света

Выбор источников света при создании ВОУ производится по следующим основным признакам: характер излучения, его цветовые характеристики; род используемого тока, величины номинальных напряжений $U_{ном}$ мощности $P_{ном}$ (и связанного с ней светового потока $Ф_{ном}$); световая отдача ψ (т. е. отношение светового потока $Ф$ к затрачиваемой для его получения электрической мощности P), и связанная с ней экономичность работы; вольт-амперная характе-

ристика; инерционность; габариты и форма светящегося тела (и связанная с этим кривая силы света); необходимость и сложность пускорегулирующей аппаратуры; характер изменения светового потока от изменения напряжения (или тока); способы и пределы управления световым потоком; изменение цветовых характеристик при управлении световым потоком.

Для характеристики распределения мощности излучения по спектру используется масштабное отображение мощности излуче-

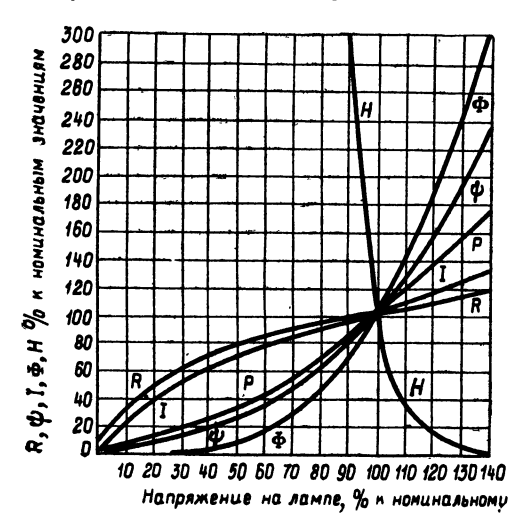


Рис. 21. Зависимость основных характеристик ламп накаливания от изменения напряжения.

ния F_λ, чаще всего в относительных величинах, на данной длине волны (или в данном интервале волн).

Лампы накаливания — самые дешевые и распространенные источники света, имеют наиобширнейшую номенклатуру (более тысячи наименований), различающуюся по напряжению $U_{ном}$, мощности $P_{ном}$, габаритам, форме баллона, наполняющему их газу, формам нити накала и цоколя. Они не требуют специальной пускорегулирующей аппаратуры и почти все могут работать в любом положении — горизонтальном или вертикальном. Средняя продолжительность работы $T=1000$ *ч*. Форма нити некоторых из них приближается к точечной, а в случае необходимости нить может быть выполнена в виде сплошного светящегося прямоугольника (кино- и прожекторные лампы). Световой поток может регулироваться от 0 до максимума изменением напряжения питания U. Характер изменения параметров P, J, Ф, ф, H от напряжения U нелинейный (рис. 21).

Нелинейность электрических характеристик объясняется тем, что нить накала меняет свое сопротивление от температуры (у холод-

ной лампы оно в 8—14 раз меньше, чем у горящей). С этим, кстати, связано и появление бросков тока при резком включении лампы. У ламп небольшой мощности нить невелика и нагревается быстро, в доли секунды (0,2—0,5 *сек*). При включении же мощных сильноточных ламп с массивной спиралью это время может достигать целой секунды.

Еще большая нелинейность световых характеристик объясняется уже собственно законами теплового излучения, согласно которым суммарный поток излучения (а значит, и света в видимом диапазоне) увеличивается от температуры в степенной зависимости.

Особенностями теплового излучения объясняются и некоторые другие, уже неприятные свойства лампы накаливания. Это — малый коэффициент полезного действия лампы, в видимой части спектра лампы, излучающей лишь 10% своей энергии. Среднее значение световой отдачи ψ равно всего 10—18 *лм/вт*. Это — сильное нагревание (до 100° С и более) баллона лампы, поглощающего инфракрасные лучи (а ими спектр излучения нагретой нити богат). Это — большая разница в значении мощности излучения F_λ для красной и синей части спектра.

И, наконец, главный недостаток — это изменение спектрального состава излучения лампы при изменении напряжения питания («покраснение» при уменьшении его). Объясняется это тем, что максимум излучательной способности нити накала при разных температурах приходится на разную длину волны $\lambda_{макс}$.

Согласно закону Вина для нагретого «абсолютно черного тела» (а раскаленный вольфрам приближенно можно считать таковым) $\lambda_{макс}T = \mathrm{const}$.

С повышением температуры происходит не только увеличение общей энергии излучения (характеризующейся площадью, заключенной под кривой относительной спектральной интенсивности), но и изменение относительной доли излучения разных длин волн, так как значение $\lambda_{макс}$ уменьшается. Видимый свет возникает в спектре лишь при достаточно высокой температуре, причем появляются в начале только красные лучи. С увеличением температуры в спектре начинают появляться и более короткие волны, и мы видим, наконец, белый свет (сумму цветов).

На рис. 22 представлены конкретные кривые спектральной интенсивности непосредственно для вольфрамовых нитей накаливания ламп разных типов при номинальных значениях напряжения (и, соответственно, температуры). При уменьшении напряжения левая часть графика спадает быстрее правой.

Несмотря на эти недостатки (которые, кстати, можно в определенной мере компенсировать), лампы накаливания остаются пока основными источниками света в арсенале любительского светомузыкального конструирования. Поэтому полезно более подробно ознакомиться со всеми другими специфическими особенностями этих, казалось бы, несложных устройств для преобразования электрической энергии в световую.

Например, если поставлена задача получить ВОУ с малой инерционностью источников света, то этому отвечают лампы на 127 и 220 *в*. Если, наоборот, необходимо, чтобы включение и выключение происходило с некоторой задержкой, более плавно, то для этой цели лучше всего подходят низковольтные лампы, т. е. с большими токами и, соответственно, с толстыми нитями накала. С уменьше-

нием номинального напряжения, кстати, связана и возможност уменьшения длины этой нити, т. е. приближение источника свет к точечному. А из обычных же ламп на 127 и 220 *в* меньшие раз меры нити накала у биспиральных. Для получения общей равно мерной засветки экрана можно применять лампы с матовыми ил молочными колбами. Экономичны лампы с зеркальными (или мато выми) отражателями, нанесенными прямо на корпус баллона, из лучающими в зоне 0±40° вокруг своей оси не менее 50% всего све тового потока.

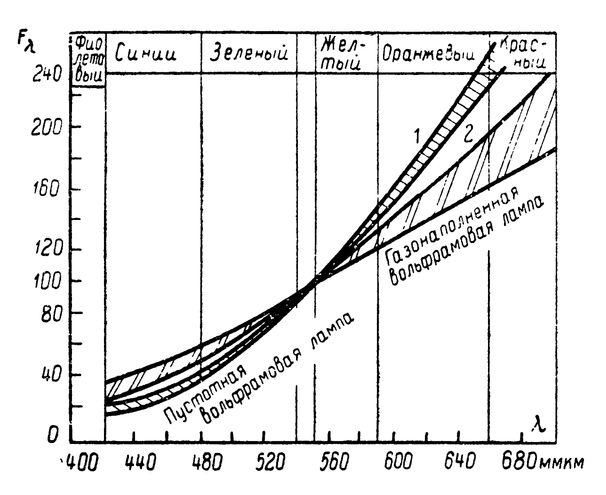


Рис. 22. Распределение энергии излучения в спектре пустотных и газонаполненных ламп накаливания.

Кривые *1* и *2* состоят каждая из двух, соответствующих максимальным и минимальным температурам накала нити семейства данных ламп.

В этом выборе конструктору представлены большие возможности. Для лучшей ориентации следует ознакомиться с основными условными обозначениями выпускаемых в стране ламп накаливания.

Применяемые обычно в быту лампы общего назначения разделяются на следующие типы (первая буква Н — «накаливания»): НВ — вакуумные, НГ — газонаполненные, НБ — биспиральные, НБК — биспиральные криптоновые. Эти лампы на 127 и 220 *в* имеют такую шкалу мощностей: 15, 25, 40, 60, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1 000, 1 500 *вт*.

Кроме того, выпускаются лампы транспортные и специального назначения, среди которых можно найти источники света не только разной мощности, но и целого ряда напряжений питания, что особенно важно при использовании БУМ на транзисторах. Это лампы низкого напряжения местного освещения (МО), железнодорожные (Ж), судовые (С), автомобильные и тракторные (А), самолетные (СМ), прожекторные (ПЖ), кинопрожекторные (КПЖ, ПЖК), ки-

нопроекционные (К), иллюминационные разного цвета (И), для маяков (ММ), сигнальные (СГ), миниатюрные низкого напряжения (МН) и т. д. Для мощных установок, предназначенных для подсветки зданий и для светозвуковых спектаклей на открытом воздухе, перспективно использование зеркальных ламп (ЗС, ЗН, НЗК) мощностью от 300 до 1 000 *вт*, а также ламп с йодным циклом, чаще всего выполненных в виде трубки (КИ, КИМ) — от 300 до 2500 *вт*.

По своему конструктивному решению, кроме формы баллона и нити, лампы накаливания различаются типом цоколя (резьбовые, штифтовые и т. д.). Например, Р-27 означает — резьбовой, диаметром 27 *мм*; 2Ш-15 — штифтовой, диаметром 15 *мм*, двухконтактный; 1Ф-С-22 — фокусирующий, секторный, диаметром 22 *мм*, одноконтактный.

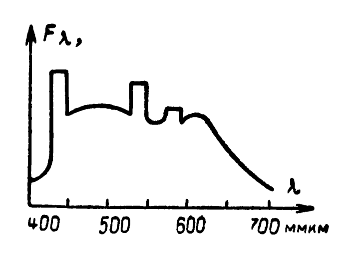


Рис. 23. Спектральная характеристика излучения люминесцентной лампы ЛД.

Столбиками заменены отдельные спектральные линии, возникающие при разряде.

Цоколи мощных, малогабаритных (например, автомобильных, самолетных) ламп надо обязательно закреплять в патроны, иначе при использовании пайки они могут «сами себя распаять» из-за сильного нагревания.

Люминесцентные лампы обладают большей, чем лампы накаливания, световой отдачей ψ (40—60 *лм/вт* и более). По спектральным характеристикам различаются лампы дневного (ЛД), с исправленной цветностью (ЛДЦ), холодно-белого (ЛБ) и тепло-белого (ЛТБ) света. В последнее время начат выпуск цветных люминесцентных ламп.

Для примера на рис. 23 приведен график распределения мощности излучения в видимом диапазоне для лампы ЛД.

В конструктивном отношении люминесцентные лампы обычного типа выполняются в виде прямых, U-образных и замкнутых в кольцо трубок, со светящейся поверхностью. Это ограничивает область их применения (ВОУ бесформной засветки).

Изготавливаются люминесцентные лампы на напряжения 127 и 220 *в* со следующей градацией по мощностям: 3, 4, 6, 8, 10, 13, 15, 20, 30, 40, 80, 125 *вт*. Нормальная работа гарантируется при температуре выше 5—10 °С.

Люминесцентные (как и все газоразрядные) лампы требуют специальной пускорегулирующей аппаратуры (ПРА), обеспечивающей прогрев электродов, что необходимо для уменьшения напряжения зажигания U_z. Кроме того, ПРА включает в себя балластную нагрузку, предохраняющую лампу от разрушения, возможного из-за неограниченного роста тока при разряде, поскольку сами люминесцентные лампы имеют отрицательную вольт-амперную характеристику. При питании ламп переменным током балластная нагрузка представляет собой обычно дроссель, потери на котором достигают 15—25%. Еще заметнее эти потери при работе с постоянным током, когда балластная нагрузка является уже активным сопротивлением.

В бесстартерных ПРА с предварительным подогревом электро-

дов U_z зависит не только от величины тока подогрева, но и от других факторов, например от наличия на поверхности лампы так называемой проводящей полоски, соединенной с одним из электродов или с «землей».

Люминесцентные, как и любые газоразрядные лампы, рассчитываются на определенное напряжение между электродами. Зажигание газоразрядных ламп гарантируется при напряжении не менее 90% номинального. При бо́льших отклонениях разряд в лампе прекращается.

Регулирование светового потока в люминесцентных лампах возможно от максимума и почти до нуля (особенно при наличии проводящей полоски). Но в отличие от ламп накаливания регулирование производится в них не изменением напряжения, а изменением тока.

Спектральные характеристики света при управлении не изменяются. Колба лампы почти не греется, что позволяет оборачивать их пленочными светофильтрами и красить жидкими цветными лаками. Средняя продолжительность горения 5000 *ч*.

При питании переменным напряжением 50 *гц* заметна пульсация светового потока (стробоскопический эффект при восприятии движущихся предметов).

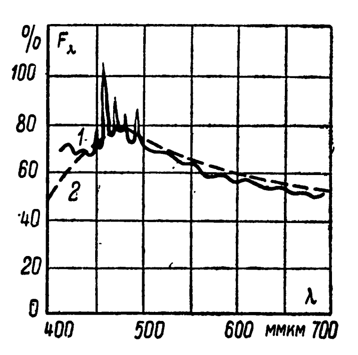


Рис. 24. Спектральные характеристики излучения ксеноновой лампы сверхвысокого давления (*1*) и солнечного света (*2*).

Ксеноновые лампы дугового разряда имеют в видимом диапазоне спектральный состав излучения, близкий к солнечному (рис. 24).

Выпускаются они шаровой (тип ДКсШ) и трубчатой формы (тип ДКсТ), для сети переменного и постоянного тока, и целого ряда в основном больших мощностей. Как и люминесцентные, ксеноновые лампы безынерционны. Падающая вольт-амперная характеристика при увеличении силы тока переходит в возрастающую, что позволяет добиваться стабилизации свечения лампы при малых балластных нагрузках (или вовсе без них — у мощных ламп).

Световая отдача ψ (с учетом потерь на балластном сопротивлении) 20—40 *лм/вт*. Регулирование светового потока (изменением тока) возможно, но в определенных пределах. На нижних уровнях яркости лампа может погаснуть, после чего повторное зажигание ее высоковольтным импульсом производится лишь после остывания лампы. Спектральный состав при регулировании почти не меняется. Яркость и световой поток меняются приблизительно пропорционально силе тока. Высокая степень концентрации света в дуге шаровых ламп позволяет использовать их в проекционных ВОУ. Лампы эти взрывоопасны и требуют в обращении специальных мер предосторожности. Номинальное напряжение шаровых ламп около 20—30 *в*, градация мощностей: 200, 500, 800, 1000, 3000, 5000 *вт*. Почти все лампы этой серии работают на постоянном токе, кроме ДКсШ-800 и ДКсШ-1000-1, и отличаются от последних по внешнему виду тем,

что имеют более массивный анод, в то время как у ламп переменного тока оба электрода одинаковы [Л. 105, 106].

Экраны и залы для демонстрации светомузыки

Вся кропотливая, как в этом убедился уже читатель, работа над ВОУ может быть сведена на нет, если у конструктора не хватит терпения выбрать наиболее подходящий экран, на котором, наконец, воплощается в зримую реальность конструкторский (а затем и композиторский) замысел.

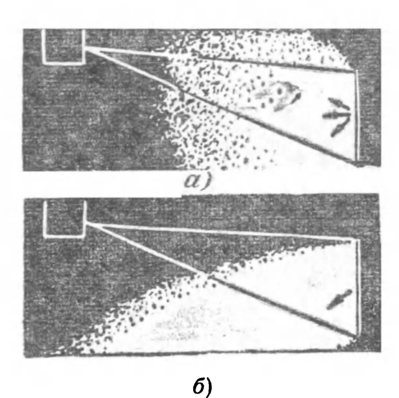


Рис. 25. Действие бело-матового (*а*) и металлизированного экранов (*б*).

Рис. 26. Кривая коэффициентов яркости при падении света по нормали для: бело-матового (*1*), металлизированного растрового (*2*) и экрана «Перлюкс» из пластиката, покрытого специальным перламутровым лаком (*3*).

Существует два типа экранов — прямой (фронтальной) и обратной (рир-) проекции.

При фронтальной проекции непрозрачный экран освещается как в обычном кино из зала, со стороны зрителей. Разумеется, в этом случае для светомузыканта целесообразно максимально использовать опыт кинопроецирования.

В зависимости от конкретно поставленной задачи (условий демонстрации, размеров зала и т. п.) можно обращаться к экранам с различным видом рассеянного отражения (рис. 10, *а* и *б*).

Применение экранов с бело-матовой поверхностью, обеспечивающей диффузное отражение, иногда может оказаться малоэкономичным (рис. 25, *а*). При использовании экранов направленно-рассеянного отражения проектор лучше располагать таким образом, чтобы экран бо́льшую часть света отражал на зрителя (рис. 25, *б*).

Характер светораспределения при отражении в более точном виде определяется графиком, показывающим, как меняется коэффициент яркости r_α в зависимости от угла α между нормалью и направлением наблюдения (рис. 26).

В любительских условиях возможно ограничиться использованием обыкновенного белого полотна, хорошо отштукатуренной стены или стандартных бело-матовых экранов 16 и 8-*мм* кинопередвижных установок из павинола или другого пластиката, поверхность которых для устранения блеска покрыта мелким растровым тиснением.

Экраны для демонстрации светомузыки могут иметь и не прямоугольную, а различных причудливых очертаний форму, не обязательно симметричную, но составляющую единое целое с общим оформлением интерьера. Иногда при работе с бесформным цветом используются экраны с неоднородной поверхностью определенной фактуры, что разнообразит впечатление и вносит дополнительный декоративный эффект.

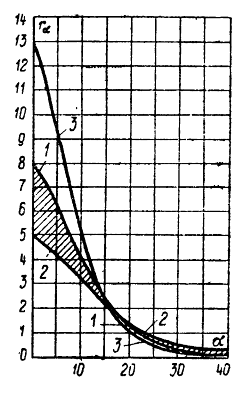


Рис. 27. Предельные кривые рирэкранов из замутненного поливинилхлорида (*1* и *2*), и крупно-матированного методом пескоструения стекла (*3*).

Последующей химической обработкой можно снизить r_0 у стекла, но не менее чем до девяти.

Для предупреждения паразитной самозасветки, возникающей за счет возвращения на экран собственного света, отраженного от потолка и стен, экран окантовывают темной полосой, а из оформления зала исключают предметы со светлой и блестящей поверхностью.

При рирпроекции полупрозрачный экран освещают с задней по отношению к зрителю, стороны. Светотехнические свойства экранов рирпроекции характеризуются видом пропускания (рис. 10, *в* и *г*). Как и в случае отражающих экранов, для определения свойств экранов рирпроекции строятся графики, связывающие коэффициент яркости r_α и α в прямоугольной системе координат (рис. 27).

При работе с такими материалами, у которых резко выражена зависимость r_α от α, на просветном экране появляется так называемая «горячая точка», передвигающаяся вместе со зрителем, меняющим угол наблюдения. Это вносит искажение в восприятие изображения и вместе с тем ставит в неравноценные условия зрителей, находящихся в разных участках зала. Поэтому необходимо либо попытаться сделать более пологой характеристику для r_α, что часто сопряжено с уменьшением общей яркости экрана, или жестко, в довольно узких пределах, ограничивать угол наблюдения экрана, руководствуясь данными рис. 27 (это относится и к случаю рис. 26).

Подбирая материалы для экрана рирпроекции (а им могут служить и органическое стекло, и калька, и обработанный специальным составом шелк, и разные пластиковые пленки широкого потребления, обработанные наждачной бумагой), меняя их толщину и по различному комбинируя с этими материалами, можно получать на выбор различные эффекты.

На обработанном с одной стороны пескоструйным аппаратом стекле (при прямом наблюдении) получаются четкие, сочные цвета,

но заметна «горячая точка». Своеобразие вносит и зернистая фактура стекла (зависящая от размеров песка в аппарате). При обработке стекла с обеих сторон формы и цвета размываются. Наилучшим материалом можно считать тонкое молочное органическое стекло. На нем получаются довольно четкие формы, но с цветами мягкими, разбавленными, напоминающими пастельные. На матовом органическом стекле цвета разбавляются слишком сильно.

Способ рирпроекции, применяемый иногда в кинематографии, еще чаще в театре и в демонстрационных установках на рекламных выставках, особенно удобен в светомузыкальных устройствах (прежде всего, камерного и индивидуального назначения).

В чем же заключаются его преимущества?

При фронтальной проекции почти всегда видны сами источники света или луч, идущий от них к экрану, и зрители, находящиеся между проектором и экраном, могут мешать демонстрации.

И главное, качество фронтальной проекции сильно зависит от посторонней засветки, что не позволяет сочетать ее с актерской игрой и другими действиями, требующими введения дополнительного освещения. Об этом свидетельствует хотя бы такой численный пример, взятый из учебников по кинотехнике. Предположим, при отсутствии паразитной засветки освещенность экрана без кинопленки (в нашем случае — без трафаретов и светофильтров) равна 200 *лк*. При введении пленки освещенность самого светлого участка экрана, допустим, стала 160 *лк*, а для самого темного — 1,6 *лк*, что обеспечивает контраст изображения $K=100$.

Каким будет значение K при использовании стандартных отражающего и просветного экранов, если величина посторонней засветки составит 20 *лк*?

1) Металлизированный киноэкран имеет $r_0=5$. Отсюда яркость на светлом участке изображена согласно формуле (2):

$$B_{св} = \frac{1}{\pi} E_{св} r_0 \approx 250 \text{ кд/м}^2,$$

а на темном

$$B_{темн} = \frac{1}{\pi} E_{темн} r_0 \approx 2,5 \text{ кд/м}^2.$$

Яркость засветки

$$B_{засв} = \frac{1}{\pi} E_{засв} r_0 \approx 32 \text{ кд/м}^2.$$

Следовательно, с учетом засветки яркость изображения на светлом участке становится $B_{св}+B_{засв}=282$ *кд/м*^{2} а на темном соответственно $2,5+32=34,5$ *кд/м*^{2}. В этом случае $K\approx 8,1$, что намного ниже нормы. Для того чтобы вернуться к прежнему значению контрастности, проекционная освещенность должна быть увеличена в 12 раз.

2) Просветный экран из полупрозрачной пленки имеет $r_0=8$ и коэффициент отражения $\rho=0,15$.

Яркость на светлом участке изображения

$$B_{св} = \frac{1}{\pi} E_{св} r_0 \approx 400 \text{ кд/м}^2,$$

на темном

$$B_{\text{темн}} = \frac{1}{\pi} E_{\text{темн}} r_0 \approx 4\ кд/м^2.$$

Яркость засветки для зрителя в зале

$$B_{\text{засв}} = \frac{1}{\pi} E_{\text{засв}} \rho \approx 1\ кд/м^2.$$

Отсюда

$$K = \frac{B_{\text{св}} + B_{\text{засв}}}{B_{\text{темн}} + B_{\text{засв}}} \approx 80,$$

что можно считать вполне удовлетворительным безо всякого изменения проекционной освещенности.

Приведенный пример указывает на то, что коэффициент отражения экрана со стороны зрителей должен быть как можно меньше.

Недостатком рирпроекции является необходимость светозащитного пространства за экраном шахты, которая бывает особенно глубокой при использовании диапроекции. Длину шахты можно сократить с помощью оборачивающих зеркал.

Частным, специфическим случаем рирпроекции являются светомузыкальные устройства со светящимся изнутри объемным экраном, выполненным в виде сферы, кристаллов и т. п., что применимо в основном при автоматическом сопровождении музыки бесформным цветом.

Наилучшие условия для демонстрации светомузыки могут быть созданы в специальных залах, в которых экран уже не плоский, а охватывает зрителя со всех сторон — как это мечтал видеть Скрябин, предполагал строить Гидони [Л. 13], предлагает сделать Шеффер во Франции [Л. 37], и что неоднократно реализовывалось на временно действующих выставках (ЭКСПО-58, ЭКСПО-67, ЭКСПО-70).

В определенной мере воплощена в жизнь мечта Скрябина в Московской студии электронной музыки, где построен зал в четверть сферы на 50—80 человек [Л. 53]. Сотрудники СКБ «Прометей» пытались приспособить для исполнения светомузыки помещение планетария. Сейчас СКБ совместно с архитекторами Казани работает над проектом эллипсоидного по форме зала со свободной пространственной динамикой звуков, которые совместно со световыми эффектами смогут описывать «линии» на плоскости экрана [Л. 21].

Существуют специфические трудности, связанные с созданием залов такого рода — нежелательное фокусирование звука поверхностью экрана и большая величина самозасветок, которые, в отличие от постороннего паразитного света, уже нельзя компенсировать дополнительным увеличением яркости проекции, так как при этом возрастает и уровень самозасветки. (К примеру, в полусферической кинопанораме величина самозасветки достигает 50% среднего значения проекционной освещенности).

Об экранах достаточно полные сведения приведены в [Л. 107].

Усвоив основные сведения об источниках света, светофильтрах, экранах, в зависимости от необходимых значений световой мощности можно в каких-то пределах уже попытаться установить и величину соответствующих электрических мощностей P.

Коэффициент полезного действия оптической системы $k_{опт}$ определяется отношением $\Phi_{пол}$ (с пользой расходуемого светового потока) к Ф, излучаемому лампой. Отсюда, если известна световая отдача ψ источника света, величина используемого потока равна:

$$\Phi_{пол} = k_{опт}\,\Phi = k_{опт}\,\psi P,$$

а уровень яркости из формулы (2)

$$B = \frac{1}{\pi} r_\alpha E = \frac{1}{\pi} r_\alpha \frac{\Phi_{пол}}{S} = \frac{k_{опт}\,\psi r_\alpha P}{\pi S}. \qquad (4)$$

При транспарантной проекции, если считать источник света за точечный, $k_{опт}$ определяется отношением телесного угла ω, в котором заключен $\Phi_{пол}$ к 4π.

При диапроекции $k_{опт}$ обычно равен приблизительно 5—8% (т. е. при применении лампы накаливания можно считать, что на каждый ватт электрической мощности приходится приблизительно 1 *лм* светового потока, дошедшего до экрана).

В обоих случаях не учитывается действие светофильтров и формообразующих структур, влияние которых следовало бы задать соответствующими коэффициентами пропускания. У трафаретов они зависят от структуры и плотности рисунка, у светофильтров — от спектральной характеристики и толщины, что в каждом конкретном случае может сильно различаться.

Вообще же, так как светомузыкальные устройства еще не унифицированы и собственный опыт нового искусства не велик, при выборе каких-либо точных рекомендаций конструктору-светомузыканту придется ориентироваться на известные, аналогичные в оптическом отношении, области, в которых такие данные уже имеются и зафиксированы (кинематография, телевидение, индикация).

Кинопроектор без пленки в фильмовом канале обеспечивает яркость 35^{+15}_{-10} *кд/м²*. Средняя яркость экрана уменьшается в 4—5 раз при демонстрации черно-белого фильма, и в 6 раз и более — при цветном.

Этот уровень яркостей явно низок, так как уже при 15 *кд/м²* цвета воспринимаются малонасыщенными, тусклыми, а при 3,5 *кд/м²* вообще перестают отличаться от черно-белого изображения.

Увеличить яркость в кино мешает эффект мелькания экрана, что для светомузыкальных устройств не является препятствием. Телевидение использует яркости 40—70 *кд/м²*. Индикаторы на пультах рекомендуется делать с экраном яркостью 70 *кд/м²* и более.

Вероятно, где-то в этом диапазоне должны работать и светомузыкальные устройства.

Но основным критерием выбора уровня яркостей экрана $B_{эк}$ останутся более общие соображения: если есть необходимость получить изображение с проработкой всех полутонов, контрастность изображения K должна быть не менее 100. Если при этом паразитная, посторонняя засветка фона равна $B_ф$, то $B_{эк}$ должно быть не меньше 100 $B_ф$. Если достаточно проработки штрихового рисунка, то $B_{эк} \approx 25\ B_ф$ (предел для телевидения). Так что, пользуясь данными индикации, телевидения и конкретных светомузыкальных устройств из последней главы, конструктор или должен иметь в разумных пределах запас по мощности в БУМ, или, если мощности мало, понижать любым способом, до благоприятного, уровень внешней засветки.

Если вопрос об абсолютных значениях яркости не имеет однозначного ответа, то различие относительных величин световых (и электрических) мощностей в различных цветовых каналах следует учитывать строго и обязательно, что особенно важно при работе с лампами накаливания. У них (рис. 22, кривая *1*) мощность «синего» излучения, например, с $\lambda=480$ *ммкм* в 6 раз меньше мощности «красного» излучения с $\lambda=680$ *ммкм*. Поэтому в канале синего света обязательно надо брать более мощные лампы или заставлять синие лампы работать хотя бы с небольшим перекалом. Это ведет к заметному «посинению» спектра излучения (но, увы, к такому же заметному сокращению времени жизни лампы).

Кроме того, при работе с любыми источниками света следует учитывать кривую видности глаза (рис. 11), потому что даже набрав по 1 *вт* синего, зеленого и красного излучения, согласно формуле (3) синего света в люменах будет меньше.

Вообще, если учитывать эти факторы, весь световой поток $\Delta\Phi_\lambda$, излучаемый в данном диапазоне $\Delta\lambda$ и могущий пройти от источника света к глазу через светофильтр, равен:

$$\Delta\Phi_\lambda = 683 v_\lambda \tau_\lambda \Delta F_\lambda \,, \qquad (5)$$

где ΔF_λ — мощность излучения в диапазоне $\Delta\lambda$, *вт*; v_λ — относительная видность на этом участке спектра; τ_λ — коэффициент пропускания фильтра на данном участке спектра.

Для обычных светофильтров и ламп накаливания красные и зеленые лампы надо брать приблизительно одной мощности, белые и желтые — в 1,5—2 раза меньше, а мощность синих и фиолетовых ламп увеличивать относительно красных в 2—3 раза и более. Для того чтобы иметь возможность точнее выравнивать яркости цветов на экране, в блоках мощности каждого из цветовых каналов необходимо предусмотреть дополнительную подстройку по максимуму.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

БЛОК УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ (БУМ)

«Наконец-то лучезарный Феб-Аполлон, кроме лиры... обретает ему принадлежащее по праву искусство, великое искусство Света. У Аполлона лиру сегодня сменит реостат.»

(Г. И. Гидони, 1933 г.)

Способы управления электрической мощностью

Яркостью источников света, как известно, можно управлять либо изменением электрической мощности, подводимой к источнику, либо диафрагмированием светового потока непосредственно на выходе. Оба эти способа имеют свои особенности. Так, электрическое управление проще конструктивно, оно позволяет управлять яркостью с высокой скоростью. Основные недостатки данного способа — это отмеченное ранее изменение спектрального состава излучения у лампы накаливания и невозможность полного затемнения у ксеноновых ламп. Управление яркостью с помощью ЭИМ, обеспечиваю-

щих механическое диафрагмирование луча, конструктивно гораздо сложнее электрического управления, но зато не меняет спектрального состава света и позволяет затемнять любые источники света до нуля.

Способы управления электрической мощностью можно разделить на два основных вида. Амплитудное регулирование заключается в изменении амплитуды напряжения или тока в нагрузке и осуществляется с помощью переменных активных резисторов, регулировочных трансформаторов, магнитных и электронных усилителей. Импульсное регулирование основано на периодическом прерывании тока, протекающего через нагрузку. При управлении источником света с достаточно большой частотой прерывания (выше 50 *гц*) из-за инерционности зрения или источника света пульсации яркости становятся незаметными, а яркость пропорциональна средней за период электрической мощности, поступающей в источник света. Изменяя соотношение между временем протекания и отсутствия тока или, как говорится, меняя «скважность» импульса, можно менять среднюю мощность, а, следовательно, и яркость источника света. Импульсное регулирование осуществляется с помощью тиратронов, тиристоров, а также транзисторов и магнитных усилителей, работающих в ключевом режиме.

Сравнение различных схем, осуществляющих амплитудное и импульсное регулирование, позволяет сделать следующие общие выводы.

Импульсный способ управления позволяет полностью использовать энергетические возможности электронных приборов за счет снижения рассеиваемой на них мощности. Зато схема БУМ при импульсном регулировании получается сложнее, чем при амплитудном. Кроме того, при больших токах и крутых фронтах импульсов создаются значительные радиопомехи, для устранения которых необходима тщательная экранировка всего устройства, а также заградительные фильтры помех на входе и выходе БУМ.

Особенности управления источниками света

Для ламп накаливания одинаково хорошо подходят и амплитудный и импульсный методы управления мощностью.

Из-за бросков тока при резком включении этих ламп БУМ в течение некоторого времени должен выдерживать ток, значительно превышающий $I_{ном}$. Эту особенность обязательно необходимо учитывать, когда в БУМ применяются приборы с малой тепловой инерцией — транзисторы и тиристоры.

Это же явление существенно усложняет расчет импульсных регуляторов. При уменьшении длительности импульсов среднее значение мощности, подводимой к лампе, невелико, следовательно, нить работает при пониженной температуре и сопротивление ее падает Так как при этом амплитудное значение напряжения в импульсе сохраняется, амплитудное значение тока заметно возрастает (в 2—3 раза) по сравнению с номинальным.

Предупреждению этих неприятных явлений способствует подпитывание ламп накаливания пороговым напряжением $U_{пор} \approx 10$—15% $U_{ном}$, тогда нить накала уже нагрета ($R \approx 2R_0$), но еще не светится.

Регулирование яркости люминесцентной лампы в самом общем виде производится по схеме, показанной на рис. 28.

В качестве регулируемого балластного сопротивления, кроме реостата, могут быть использованы магнитные усилители и электронные лампы.

При параллельной работе люминесцентных ламп каждая из них должна иметь отдельное балластное сопротивление, иначе при включении может зажечься лишь одна лампа — с наименьшим U_z. Поэтому при амплитудном регулировании все балластные сопротивления должны меняться синхронно, что в ряде случаев осуществить очень трудно. Гораздо проще этот синхронизм обеспечивается при использовании импульсных схем регулирования.

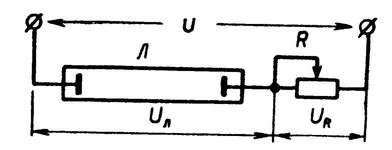


Рис. 28. Схема регулирования люминесцентной лампой.

У ксеноновых ламп и при амплитудном, и при импульсном управлении мгновенное значение тока не должно опускаться ниже определенной величины — тока гашения.

Основные типы БУМ

Регулирование с помощью реостатов основано на изменении их активного сопротивления, включенного в цепь нагрузки. Зависимость величины сопротивления от перемещения токосъемника определяется конструкцией реостата и может иметь различный характер. У большинства промышленных реостатов эта зависимость линейная. По способу включения в цепь нагрузки различают последовательное (реостатное) и параллельное (потенциометрическое) включение переменного резистора.

В БУМ рациональнее применять реостатное включение, так как при потенциометрическом включении происходит резкое увеличение рассеиваемой на потенциометре мощности. Максимальное сопротивление реостата $R_{р.макс}$ выбирается из условия полного управления потоком света от нуля до максимума. Так как световой поток у ламп накаливания становится нулевым при понижении напряжения на нагрузке до уровня 10—15% $U_{ном}$, то

$$R_{р.макс} \approx (3 \div 4)\,\frac{U_{ном}}{I_{ном}} \approx (3 \div 4)\,R_{ном}.$$

Максимум рассеиваемой мощности наступает при $R_р = R_{ном}$ и составляет

$$P_{р.макс} \approx 0{,}4P_{ном} \approx 0{,}4U_{ном}\,I_{ном}.$$

Недостатком реостатного включения является нелинейный характер изменения напряжения на нагрузке при плавном перемещении токосъемника. При включении лампы напряжение на ней растет медленно, а в зоне больших напряжений — очень быстро.

Кроме того, напряжение на нагрузке зависит от величины самой нагрузки $R_н$, что не позволяет применять реостатное включение в растровых СМИ.

Реостат обладает значительной теплоемкостью и не боится кратковременных перегрузок по току. Поэтому защита от короткого за-

мыкания в нагрузке может производиться с помощью обычных плавких предохранителей.

Регулирование мощности в цепи с помощью регулировочного автотрансформатора осуществляется изменением коэффициента трансформации.

Изготовить регулировочный автотрансформатор с плавным регулированием в любительских условиях достаточно сложно. Поэтому рекомендуется применять регулировочные автотрансформаторы, выпускаемые промышленностью (серия РНО большого диапазона мощностей, различные лабораторные приборы типа ЛАТР, РНШ, а также театральные регуляторы напряжения).

Значительная теплоемкость делает автотрансформатор нечувствительным к коротким токовым перегрузкам, а при хорошем охлаждении позволяет в течение довольно длительного времени несколько перегружать его.

Регулировочная характеристика автотрансформаторов, как правило, линейна, выходное напряжение почти не зависит от сопротивления $R_н$, к. п. д. равняется 75—80%.

Принцип действия магнитного усилителя состоит в изменении индуктивного сопротивления дросселя с сердечником с помощью тока, протекающего по обмотке подмагничивания. Конструктивно магнитные усилители выполняются на кольцевых или на двухстержневых сердечниках. Сердечник изготовляют из электротехнической стали, а объем его рассчитывают так же, как объем сердечника обычного трансформатора. При построении БУМ на магнитных усилителях для улучшения его работы целесообразно ввести в его схему внутреннюю обратную связь.

В радиолюбительской практике можно упростить изготовление магнитного усилителя, применив для этой цели два силовых трансформатора подходящей мощности. Без всяких переделок такой магнитный усилитель обеспечит усиление по мощности порядка 1 000—2 000. Первичные (рабочие) обмотки трансформаторов включают последовательно в цепь нагрузки, а на повышающие, соединенные также последовательно, подают управляющее напряжение, причем первичные обмотки включают согласно, а повышающие — встречно.

Как и автотрансформатор, магнитный усилитель не боится коротких перегрузок по току, поэтому, даже при управлении лампами накаливания расчет необходимо вести по максимальным действующим значениям напряжений и токов и по средней за период мощности.

Благодаря большому коэффициенту усиления, высокой надежности и хорошему к. п. д., магнитные усилители находят применение в установках самой различной мощности и с разными нагрузками. К недостаткам магнитного усилителя следует отнести его значительную инерционность (до нескольких секунд для больших мощностей), что не позволяет получить необходимую гибкость управления источниками света.

Для примера на рис. 29 приведена схема конкретного БУМ на магнитном усилителе с положительной внутренней обратной связью ($P_{вых}=100$ *вт*, $U_{макс}=127$ *в*, $U_{упр}=2{,}5\div3$ *в*).

Рабочие обмотки W_1—W_4 включены таким образом, что магнитный усилитель находится в состоянии насыщения. Индуктивное его сопротивление мало, и через обмотки W_1—W_4 течет большой ток. При протекании тока через управляющие обмотки W_5—W_6 магнитный поток этих обмоток направлен навстречу магнитному потоку обмоток W_1—W_4. В этом случае магнитный усилитель представляет собой

большое сопротивление. Для питания обмотки управлеиия магнитного усилителя применен транзисторный усилитель с непосредственной связью между каскадами. Изменение тока обмотки управления достигается шунтированием обмотки W_5—W_6 транзистором T_3. Подобный магнитный усилитель может быть изготовлен самостоятельно [Л. 60].

В светомузыкальных устройствах могут применяться ламповые и транзисторные БУМ, работающие в режиме амплитудного регулирования.

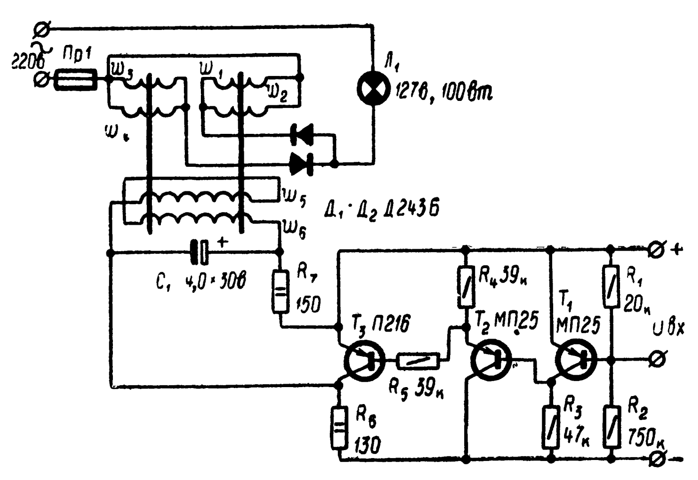


Рис. 29. Схема магнитного усилителя АСМУ «Самоцвет».

Если имеются обычные усилители НЧ достаточной для питания ВОУ мощности их, разумеется, тоже можно использовать в качестве БУМ. Но при изготовлении БУМ, специально предназначенных для питания источников света или двигателей, схема усилителя может быть значительно упрощена, что позволит на тех же электронных приборах получить несколько большую полезную мощность в нагрузке.

Оконечный каскад БУМ, питающий источники света, в большинстве устройств работает как усилитель постоянного тока и реже как однотактный бестрансформаторный усилитель переменного тока класса В. Источники света включаются последовательно с электронным прибором в цепь анода (коллектора) или катода (эмиттера). Преимущество первой схемы в большом коэффициенте усиления по мощности и напряжению, второй — в хорошей линейности характеристик управления.

Проектирование оконечного каскада БУМ заключается в согласовании энергетических характеристик используемого электронного прибора и источников света. Энергетические возможности электронного прибора характеризуются следующими параметрами: допустимым напряжением на аноде (коллекторе) $U_{доп}$, максимальным током анода (коллектора) или катода (эмиттера) $I_{доп}$ и максимальной допустимой мощностью, рассеиваемой на аноде (коллекторе) $P_{доп}$.

Если источник света характеризуется (со стороны входа) номинальными значениями напряжения ($U_{ном}$), тока ($I_{ном}$) и мощности ($P_{ном}$), то для надежной работы электронного прибора необходимо соблюдать условия

$$U_{доп} \geqslant U_{ном}; \quad I_{доп} \geqslant I_{ном}; \quad P_{доп} \geqslant P_{рас}.$$

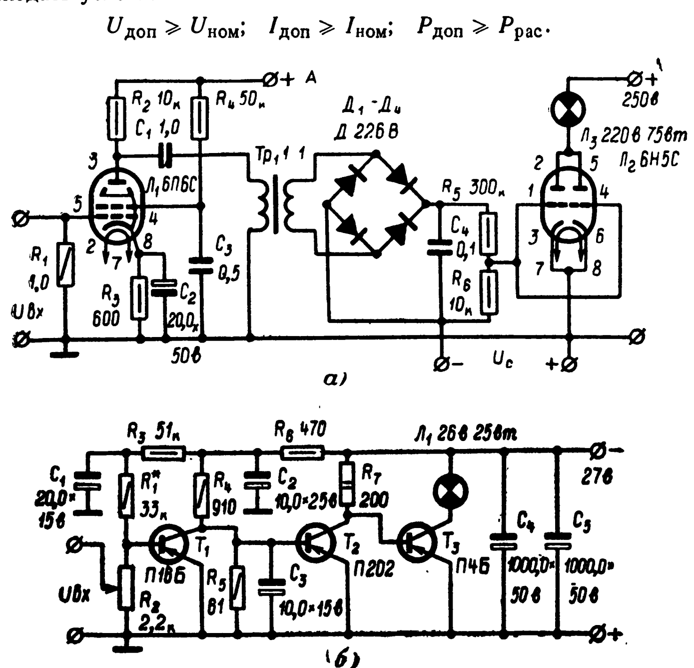


Рис. 30. Схемы электронных БУМ.

а — на электронных лампах; *б* — на транзисторах.

Кроме того, при использовании ламп накаливания, необходимо учитывать возможные броски тока, которые не должны превышать соответствующих допустимых импульсных токов через прибор.

Приблизительно значение рассеиваемой на приборе мощности $P_{рас}$ можно определить по формуле

$$P_{рас} = \frac{P_{ном}}{4}.$$

Реальная рассеиваемая мощность при использовании ламп накаливания из-за нелинейности их вольт-амперных характеристик будет больше. Уточнить расчет для них можно, построив график нагрузочной линии на семействе анодных (коллекторных) характеристик прибора либо график рассеиваемой на приборе мощности в зависимости от протекающего тока. Для увеличения надежности рекомендуется значения мощностей, токов и напряжений брать равным 70—80%

предельно допустимых [Л. 48]. Улучшение теплового режима достигается применением радиаторов.

Необходимо учесть также, что для каждого типа электронного прибора существует оптимальное значение нагрузки, при которой обеспечивается наибольшая полезная мощность. Подобрать это значение можно либо выбором типа источника света, либо параллельным или последовательным соединением нескольких источников света.

При недостаточной мощности одного электронного прибора применяется их параллельное включение. В этом случае в цепи катодов (эмиттеров) включают резисторы небольшого сопротивления для выравнивания разброса характеристик приборов.

Оконечные каскады БУМ, как правило, питаются нефильтрованным выпрямленным напряжением. На рис. 30, *а* и *б* приведены схемы БУМ на электронных лампах и транзисторах.

При использовании транзисторных БУМ, работающих в импульсном режиме, если частота следования импульсов находится в пределах 50—400 *гц* и фронты импульсов крутые, рассеиваемая мощность определяется в основном потерями на коллекторе при насыщении транзистора. Небольшие напряжения на коллекторе при насыщении позволяют пропускать через транзистор предельные токи и полностью использовать энергетические возможности прибора.

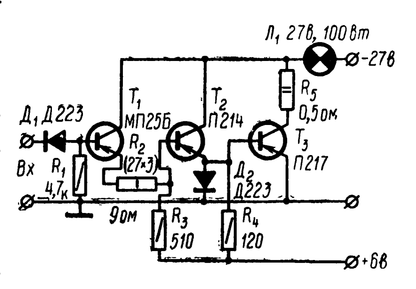


Рис. 31. Схема БУМ на транзисторах с широтно-импульсной модуляцией (АСМУ «Идель»).

На рис. 31 представлена схема транзисторного БУМ мощностью 100 *вт*. Оконечный каскад усилителя выполнен на транзисторе T_3. Управление транзистором осуществляется от ключевого каскада, собранного на транзисторах T_1 и T_2. На вход ключевого каскада поступают импульсы переменной скважности, сформированные схемой управления.

Хорошим ключом в импульсной схеме регулирования может служить тиратрон. Одна из возможных схем БУМ на тиратроне приведена на рис. 32. В мощном каскаде использован тиратрон типа ТГЗ-0,1/1,3, который питает лампу накаливания мощностью 75 *вт*, 127 *в*. Управление осуществляется с помощью усилителя постоянного тока на транзисторах T_1 и T_2 типа МП-13. С коллектора транзистора T_2 постоянное напряжение снимается на фазосдвигающий контур R_5, R_6, C_1, C_2. Сюда же подается переменное сетевое напряжение 6—7 *в* частотой 50 *гц*. На участке «сетка—анод» тиратрона одновременно действует сумма двух напряжений: сдвинутое на 90° относительно анодного напряжения переменное напряжение с частотой 50 *гц* и постоянное напряжение, величина которого может меняться от —8 до —1 *в* в зависимости от уровня входного сигнала. При этом яркость свечения лампы меняется от еле заметного до полного. Для нормальной работы тиратрона необходим достаточный разогрев его катодов. Если анодное напряжение подается при холодном или недостаточно разогретом катоде, то тиратрон выходит из строя. Чтобы этого не

произошло, с помощью автоматической блокировки или поочередного (через 1—3 *мин*) включения обеспечивается раздельная подача напряжения на анод и катод тиратрона.

Тиристор (управляемый полупроводниковый вентиль) можно считать полупроводниковым аналогом тиратрона. Он также может быть применен для импульсного управления мощностью в цепях переменного тока. Выбор тиристора производится по среднему значению тока в нагрузке и величине прямого и обратного напряжения.

Значения предельных величин токов и напряжений сильно зависят от эффективности отбора тепла от кристалла тиристора, поэтому

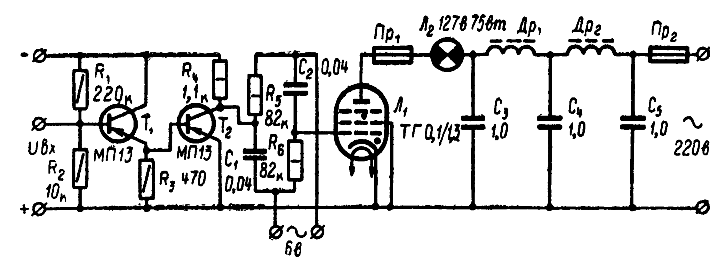


Рис. 32. Тиратронный БУМ одного из АСМУ.

важно обеспечить его охлаждение с помощью радиаторов с естественным и искусственным способом обдува.

При управлении тиристором, как и тиратроном, на управляющий электрод подаются импульсы напряжения той же частоты, что и переменное анодное напряжение. Угол отпирания тиристора зависит от их сдвига во времени, что может быть достигнуто четырьмя основными методами — амплитудным, фазовым, фазо-импульсным и вертикальным. Последний способ наиболее распространенный.

Сущность его заключается в наложении переменного (синусоидальной, треугольной или пилообразной формы) и регулируемого постоянного напряжений. В момент равенства этих напряжений сравнивающее устройство запускает выходной каскад (триггер, мультивибратор с эмиттерной связью, блокинг-генератор или транзистор, работающий в ключевом режиме).

Схема БУМ одного из АСМУ, собранного на тиристорах по схеме с вертикальным методом управления, представлена на рис. 33. Блок управления тиристорами выполнен на транзисторах T_1—T_4, а каскад формирования пилообразного напряжения на транзисторе T_1. На входе формирователя прямоугольных импульсов (T_2) сравниваются управляющее и пилообразное напряжения, и на выходе каскада образуются прямоугольные импульсы, ширина и положение которых определяются величиной управляющего напряжения. Эти импульсы усиливаются по мощности и запускают ждущий блокинг-генератор, выполненный на транзисторе T_4. Со вторичной обмотки трансформатора $Тр_1$ импульсы подаются в цепь управляющего электрода тиристора и в соответствующие моменты отпирают его. Схема пригодна для управления тиристорами различных мощностей.

В зарубежных АСМУ часто применяются более простые схемы управления тиристорами. В качестве переключающего прибора в них используются двусторонние переключающие диоды или особые нео-

новые лампы (рис. 34). Полупериоды сетевого напряжения подаются на зарядную RC-цепочку. Когда напряжение на конденсаторе C_1 достигнет определенной величины, неоновая лампа зажигается и на управляющий электрод тиристора подается импульс тока. Изменяя постоянную времени RC-цепочки, можно регулировать угол отпирания тиристора.

Кроме того, как и тиратроны, тиристоры являются мощными источниками сетевых и радиопомех, они обладают еще одним неприятным недостатком — чувствительностью к токовым перегрузкам. Если трехкратное превышение номинальных значений тока выдерживается ими в течение целой секунды, то при коротких замыканиях нарастание тока за полпериода (сотые доли секунды) приводит к мгновенному пробою тиристора. Обычные плавкие предохранители не успевают срабатывать за столь короткий промежуток времени, а потому для тиристорных схем непригодны.

Защита тиристоров от короткого замыкания основывается или на автоматическом запирании тиристора с помощью реле максимального тока (токовый трансформатор на выходе БУМ и т. п.), или на использовании особых быстродействующих плавких предохранителей, изготавливаемых специально для тиристорных приборов.

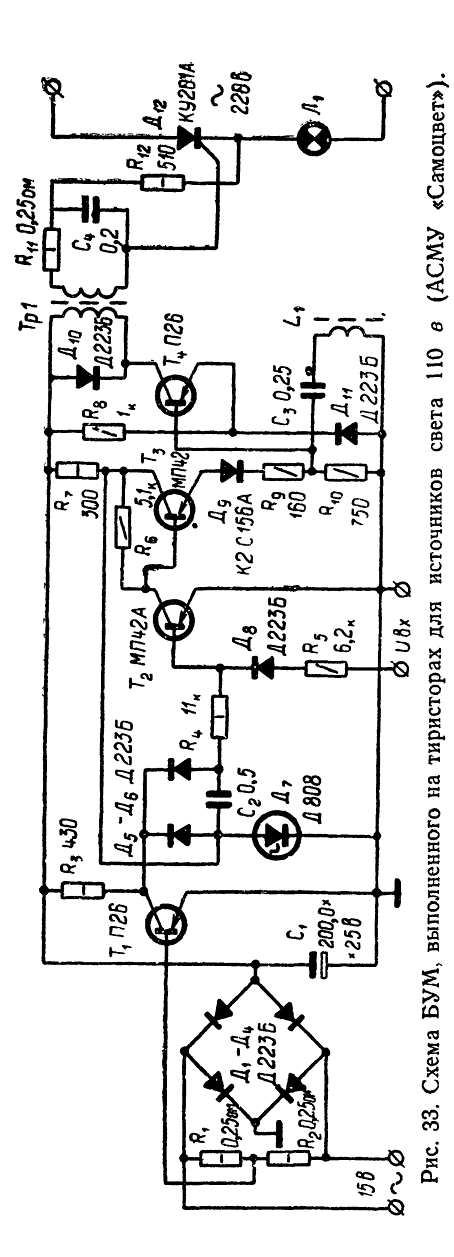


Рис. 33. Схема БУМ, выполненного на тиристорах для источников света 110 *в* (АСМУ «Самоцвет»).

Для мощных светомузыкальных установок коллективного пользования могут быть применены серийные тиристорные БУМ. Например, РНТО-330-63, РТ-5-220, РТ-10-220, управляющие электрической мощностью соответственно в 18, 5 и 10 *квт*.

Тиристорные БУМ могут управлять и еще большими мощностями. По этому признаку они занимают сейчас первое место среди разного рода БУМ. Достаточно сказать, что магнитный усилитель, автотрансформатор, реостаты, тиратронные БУМ могут управлять мощностями до нескольких киловатт, транзисторы в импульсном режиме — до нескольких сотен ватт, а электронные приборы в амплитудном режиме — всего до нескольких десятков ватт.

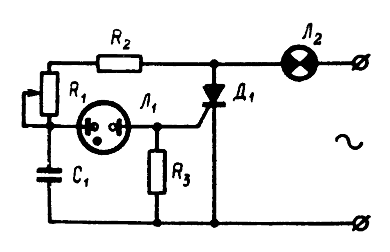


Рис. 34. Схема упрощенного БУМ на тиристорах.

Автотрансформаторы и реостаты рационально применять в СМИ, а остальные типы БУМ, имеющие возможность управления электрическим сигналом, прежде всего в АСМУ [Л. 108, 111].

ГЛАВА ПЯТАЯ

БЛОК УПРАВЛЕНИЯ (БУ) И АНАЛИЗАТОРЫ ЗВУКОВОГО СИГНАЛА

«...Звуки умертвив,
Музыку я разъял, как
труп».
(А. С. Пушкин, «Моцарт и Сальери»)

Управление светом в СМИ осуществляется музыкантом-исполнителем с помощью пультов, которые в подражание традиционным инструментам иногда выполняют в виде обычной фортепианной клавиатуры (см. рис. 46). Однако более оптимальным следует считать использование для СМИ специальных пультов, учитывающих специфику светового материала. Так, в «клавилюксе» Т. Уилфреда отдельные линейные и вращательные регуляторы независимо управляют получением и выбором светового эффекта, его яркостью, цветом, движением. Оригинально решен пульт французской световой установки «Хромон». Он выполнен в виде цветового треугольника МКО. Двигая ручку пульта в любую точку этого треугольника, светомузыкант получает на экране соответствующий цвет.

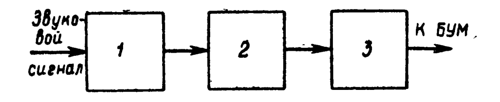


Рис. 35. Схема блока управления АСМУ.

Подобные пульты по конструкции близки к театральным регуляторам. И именно из театра СМИ могут заимствовать технику и методику записи готовой световой партии на такие запоминающие устройства, как перфокарта, перфолента. Большими возможностями обладает многоканальная запись на магнитную пленку.

В отличие от пультов СМИ блок управления АСМУ (рис. 35) обязательно включает в себя устройства, которые анализируют звучащую музыку *1*, а затем опознают и классифицируют выявленные ее «параметры» *2*. И только после этого соответствующие сигналы поступают в программирующее устройство *3*, которое управляет источниками света и электрическими исполнительными механизмами ВОУ, причем анализироваться должны не только основные параметры звука, а «параметры» музыки, которые хоть и связаны с характеристиками звука, представляют собой гораздо более сложное явление.

Звук, слух, музыка

Из всех возможных в природе звуков музыка в основном использует музыкальные тона, обладающие определенной частотой, интенсивностью (силой), спектральным составом и продолжительностью. Из области ощущений им соответствуют: высота, громкость, тембр и длительность.

Используемые в музыке тона охватывают лишь часть звукового диапазона (от 16 до 4 000 *гц*). Не все тона одинаково часто при этом используются — чаще всего это тона среднего регистра (рис. 36).

Зависимость между ощущением высоты и частотой звука не линейная, а логарифмическая (поэтому одинаковые ноты в каждой октаве отличаются по частоте в целое число раз). Логарифмической же по закону Вебера—Фехнера можно считать и зависимость между ощущением громкости и интенсивностью звука[1]. Поэтому для измерения изменений громкости применяется логарифмическая единица децибел (*дб*), соответствующая едва заметному приросту громкости звука. Выражение

$$N_{дб} = 20 \lg \frac{p_2}{p_1}$$

характеризует разность уровней звукового давления (или напряжений на катушке громкоговорителя).

Так как интенсивность звука пропорциональна квадрату звукового давления, то при повышении интенсивности в n раз повышение звукового давления будет равно:

$$20 \lg \sqrt{n} = 10 \lg n,\ дб.$$

Так же связаны между собой электрическая мощность и напряжение на катушке громкоговорителя.

Только для двух из четырех параметров слухового ощущения в музыке имеются аналогии простейших элементов музыкального языка — для громкости и для тембра.

---

[1] Согласно закону Вебера — Фехнера все органы чувств реагируют на относительное, а не на абсолютное изменение раздражителя. И для зрения возрастание ощущения светлоты света, связанное с изменением яркости в n раз, пропорционально логарифму n.

В музыкальной практике различаются лишь восемь градаций громкости, которые обозначаются в порядке убывания: *fff*, *ff*, *f*, *mf*, *mp*, *p*, *pp*, *ppp* и охватывают диапазон 70—85 *дб*, так что каждой ступени этой динамической шкалы соответствует изменение уровня громкости на 10—12 *дб*. Следует иметь в виду, что музыканты под динамикой понимают самую общую огибающую изменений громкости. Если же регистрировать громкость прибором, то под одним динамическим знаком, например *ff*, объединяющим целую музыкальную фразу, можно обнаружить наличие и затуханий, и атаки звука,

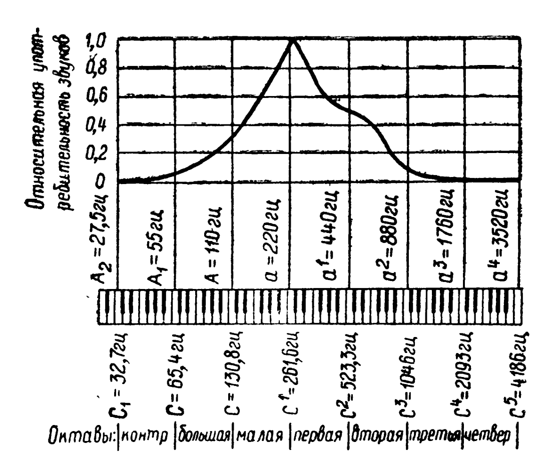


Рис. 36. Звуковой диапазон с распределением по октавам. Кривая показывает, как часто используются разные тона при исполнении фортепианных пьес.

и даже микропаузы между отдельными звучаниями (особенно у ударных и клавишных инструментов).

По тембру слушатель различает друг от друга музыкальные инструменты. В зависимости от того, в каком отношении находятся интенсивности отдельных обертонов (гармоник) и основного тона, получается ощущение сочности, резкости, мягкости, прозрачности, гнусавости, матовости звука. Для каждого инструмента существует свой диапазон, в котором он может работать (рис. 37). Композитор при сочинении оркестровой музыки исходит из этих возможностей, производя так называемую инструментовку произведения.

В отличие от тембра и громкости этих неразложимых «параметров» музыки с высотой и длительностью связаны уже не по одному, а по несколько более сложных явлений, таких как мелодия, лад, темп, метр, регистровка, гармония, полифония, к которым название «элемент» или «параметр» музыки можно применять лишь условно.

С длительностью звука связаны в музыке ритм, метр, темп.

Именно по ритму, по ритмическому рисунку мы отличаем марш от вальса. Отличаем по тому, как организована последовательность длительностей отдельных звучаний.

М е т р о м определяется равномерность, периодичность повторения акцентов. Музыканты обычно сравнивают метр с сеткой канвы, по которой вышивается узор ритма.

Т е м п характеризует быстроту движения, скорость развития музыки, а точнее, частоту пульсирования метрических долей.

С высотой звука связаны в музыке: регистр, гармония, мелодия, лад, полифония. (В той же степени почти все эти «параметры» связа-

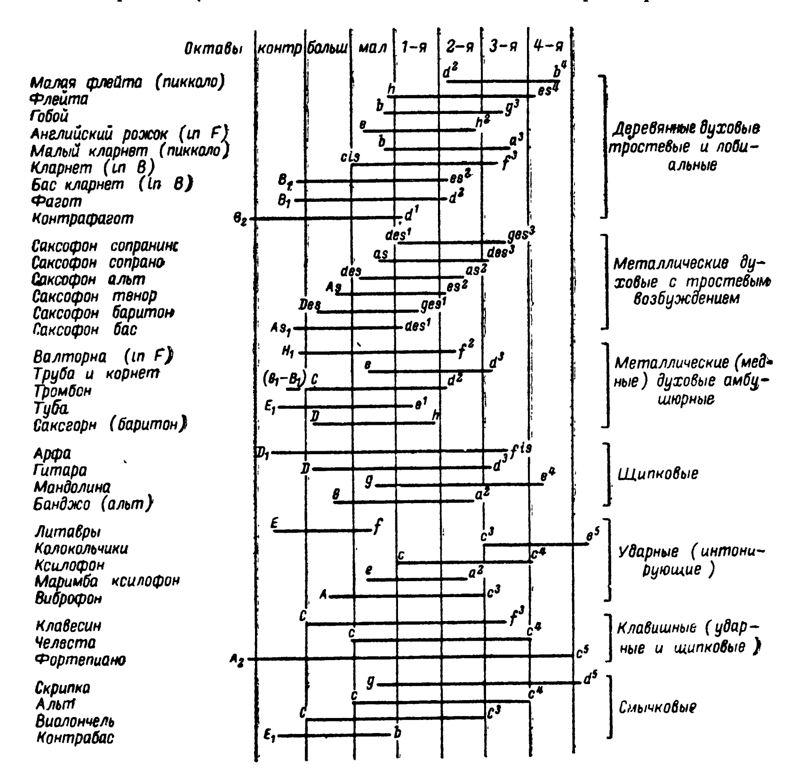


Рис. 37. Диапазоны различных музыкальных инструментов.

ны и с длительностью, так как само существование и проявление их возможно лишь во временном развитии.)

Одновременное звучание нескольких тонов (от 2 до 16) составляет г а р м о н и ю или аккорд. В зависимости от состава и соотношений тонов в аккорде достигается тот или иной эффект «многозвучия». Воздействие комплекса тонов в этом смысле близко к тембру, но в отличие от обертонов, составляющих тембр, тона в аккорде не сливаются в один звук. В самом простом различении аккорды делятся на консонансные (благозвучные) и диссонансные (неблагозвучные).

Последовательность звуков, меняющихся по высоте и вместе с тем в определенном ритме, составляет мелодию. Одна и та же последовательность нот, но с разными соотношениями длительностей, не будет звучать как одна и та же мелодия. В то же время пропорциональное изменение длительности всех звучаний, т. е. изменение темпа сохраняет возможность распознавания мелодии.

Практически число возможных мелодий бесконечно. Но не любая последовательность нот является мелодией, так же как не любой набор букв становится словом.

Идущие друг за другом звуки могут отличаться по высоте в разной степени, т. е. составлять мелодические интервалы различной величины. Интервал этот может быть нисходящим или восходящим в зависимости от того, понижается или повышается звук. Существует определенная система в последовательности этих интервалов. В мелодическом ряду имеются опорные (или устойчивые) тона, главный из которых называется тоникой. Именно к этим устойчивым тонам тяготеют остальные звуки в своем последовательном «шагании» по интервалам. В ином случае возникает ощущение незавершенности музыкальной фразы. Система звуковысотных связей, объединенных тоникой, называется ладом. Число звуков, входящих в лад, уже ограничено. Ступенями лада называются звуки, вошедшие в данную ладовую систему.

В зависимости от высотного положения этих ступеней относительно тоники различают два основные лада — мажор и минор, которые по своему эмоциональному воздействию часто сравнивают со светом и тенью.

От того, какой тон является тоникой, т. е. каково высотное положение лада, зависит название 12 тональностей в каждом из ладов, которое состоит из двух частей — обозначений тоники и лада. К примеру: До-мажор (или *C*-dur).

Уже это, крайне упрощенное определение основных элементов музыкального языка должно убедить в том, что автоматический анализ музыки сопряжен с исключительными трудностями. Если учесть к тому же еще относительность многих понятий (таких, например, как устойчивость и неустойчивость звуков, консонансность и диссонансность аккордов и т. п.), их постоянную изменчивость в ходе развития музыкального мышления, то можно прийти к выводу о принципиальной невозможности до конца формализовать и классифицировать музыкальные средства и приемы.

А ведь случай одноголосной музыки — самый простой. В оркестре звучат десятки инструментов, каждый из которых вплетает свою линию в полифоническую (многоголосную) фактуру произведения. Анализатор должен распознавать все эти голоса и анализировать их отдельно.

Но в определенных пределах музыкальный анализ все же возможен и производится издавна (обычным путем — в человеческом ухе и мозге).

Значит, в конце концов, к этому смогут приблизиться когда-нибудь и машины, для чего прежде всего необходимо научиться проводить простейший автоматический анализ основных характеристик звука: интенсивности, частоты, спектрального состава и продолжительности.

Теория музыки и особенности ее восприятия, без знания чего не стоит и браться за самостоятельную разработку сложных анализаторов музыки, достаточно полно изложена в [Л. 112—114].

Анализ интенсивности звука

Для получения электрического сигнала, характеризующего интенсивность звука, необходимо выделить огибающую амплитуды звуковых колебаний, что можно сделать с помощью обычного амплитудного детектора *Д* и сглаживающего *RC*-фильтра.

Меняя постоянную времени фильтра $\tau = RC$, можно выбирать время усреднения, т. е. верхнюю заметную частоту громкостных изменений. При большом увеличении τ изменение сигнала на выходе схемы перестает реагировать на атаки звучаний и микропаузы, т. е. сигнал начнет характеризовать по сути дела динамику музыки, как ее обычно понимают музыканты. Но при этом становится заметной общая инерционность действия схемы, проявляющаяся как запаздывание и нереагирование на появление кратковременных звучаний.

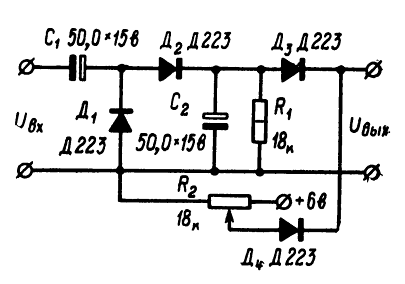


Рис. 38. Схема для выделения огибающей амплитуды звукового сигнала (АСМУ «Идель»).

В зависимости от типов ВОУ и программы АСМУ постоянное время τ выбирается экспериментально. Единственное заданное условие — τ обязательно должно быть больше периода колебания самых низких звучаний.

На рис. 38 представлен блок управления яркостью одного из АСМУ. Данное детекторное устройство собрано по схеме удвоения, что обеспечивает достаточно большое выходное напряжение. Потенциометром R_2 устанавливается начальное смещение (при отсутствии звукового сигнала). Его величина определяет степень порогового напряжения на источниках света. Продетектированное напряжение складывается с напряжением начального смещения. Диоды $Д_3$ и $Д_4$ являются элементами пассивного сумматора. В некоторых случаях возникает необходимость управления яркостью источников света в обратной зависимости от силы звука. В этом случае выпрямленное напряжение на выходе детектора должно быть отрицательной полярности, что достигается сменой полярности диодов $Д_1$—$Д_3$ и конденсаторов C_1—C_2. Потенциометром R_2 также устанавливают начальное смещение, и величина его определяет степень максимальной яркости при отсутствии звукового сигнала. При появлении звукового сигнала уровень смещения уменьшается тем заметнее, чем громче звук.

Известно, что динамический диапазон музыки превышает диапазон изменения яркости источников света. У лампы накаливания, например, начинающей светиться при 10—15% $U_{ном}$, он равен всего 20 *дб*. Поэтому в тех АСМУ, где конструктор связывает яркость с громкостью, эта связь не может осуществляться во всем диапазоне громкостей. Предположим, поставлена задача, чтобы свет появился сразу же с появлением минимального звукового сигнала (прежде всего для этого, конечно, нужно подать на лампочки постоянное пороговое напряжение, равное 10—15% $U_{ном}$). Яркость будет зависеть от

громкости лишь в области тихих звуков, при громких — наступит насыщение и лампа уже не будет реагировать на динамику звука. Если же наоборот, «загрубить» чувствительность и сделать заметной связь в области громких звуков, то изменения света прекратятся уже при средней громкости музыки, а тихая музыка вообще будет звучать в темноте.

Исключить подобное явление можно лишь с помощью АРУ, меняющей коэффициент усиления БУМ внутри заданного динамического диапазона. Или для этого надо брать БУМ (или предварительный усилитель) с заведомо нелинейной, логарифмической характеристикой.

Анализ частоты звука

Частота звука определяется с помощью электрических пассивных и активных *LC* и *RC*-фильтров.

Схемы и расчетные формулы пассивных фильтров приведены в табл. 2. Сопротивление резистора *R* в расчетных формулах *LC*-фильтров берется равным сопротивлению нагрузки. Избирательность Г-образного *LC*-фильтра — около 12 *дб* на октаву. У Т и П-образных — в 2 раза больше. Потери на активном сопротивлении катушек индуктивности увеличивают затухание в полосе пропускания и ухудшают избирательность.

Для снижения потерь на низких частотах применяются катушки индуктивности с ферромагнитными сердечниками. (Кстати, перемещение сердечника или изменение зазоров в нем позволяет легко изменять индуктивность и таким образом настраивать фильтр).

Хотя *RC*-фильтры имеют большие потери и их характеристики хуже, чем у *LC*-фильтров, небольшие размеры элементов и простота настройки делают их общеупотребительными в области звуковых частот.

Наилучшие характеристики пассивных *RC*-фильтров получаются при сопротивлении нагрузки $R_н = \infty$ и сопротивлении источника сигнала $R_г = 0$. Это необходимо учитывать при согласовании каскадов. Практически достаточно обеспечить выполнение соотношений:

$$R_н = (10 \div 20)\,R; \quad R_г = \frac{1}{(10 \div 20)\,R}\,.$$

Значительное улучшение характеристик достигается в активных *RC*-фильтрах.

Активные фильтры представляют собой сочетание широкополосного усилителя и пассивного *RC*-фильтра, включенного в цепь положительной или отрицательной обратной связи.

Расчет параметров активных фильтров достаточно сложен, и поэтому их настройка обычно производится экспериментально.

На рис. 39 приведена схема активного полосового фильтра, составленного из активных фильтров НЧ и ВЧ с избирательностью 14—15 *дб* на октаву и коэффициентом передачи 1,0—1,3. В табл. 3 приведены значения элементов фильтров для различных полос пропускания.

При необходимости оба фильтра НЧ и ВЧ могут быть использованы отдельно. Для увеличения избирательности применяется последовательное включение нескольких фильтров.

Фильтры с такой широкой полосой пропускания могут определить лишь регистр, в котором находится данный звук. Для анализа мело-

Таблица 2

Типы фильтров	Схема LC-фильтров		
	Г-образное полузвено	Т-образное звено	П-образное звено
Фильтр низкой частоты	0,5L, 0,5C	0,5L, 0,5L, C	L, 0,5C, 0,5C
	k, f, f_c	$L=\dfrac{0,32R}{f_c}$	$C=\dfrac{320}{Rf_c}$
Фильтр высокой частоты	2C, 2L	2C, 2C, L	C, 2L, 2L

Приложение табл. 2

Типы фильтров	Схема LC-фильтров		
	Г-образное полузвено	Т-образное звено	П-образное звено
Фильтр высокой частоты		$L=\frac{0{,}08R}{f_c}$	$C=\frac{80}{Rf_c}$
Полосовой фильтр			
		$L_1=\frac{0{,}32R}{\Delta f}$ $C_1=\frac{80\Delta f}{Rf_1f_2}$	$L_2=\frac{0{,}08\Delta fR}{f_1f_2}$ $C_2=\frac{320}{R\Delta f}$ $\Delta f=f_2-f_1$

L, мгн; C, мкф; f, кгц; R, ом

Типы фильтров	Схема *RC*-фильтров		
Фильтр низкой частоты			
		$f_1 = \frac{160}{RC}$	$f_1 = \frac{59}{RC}$
Фильтр высокой частоты			
		$f_1 = \frac{160}{RC}$	$f_1 = \frac{430}{RC}$

Типы фильтров	Схема RC-фильтров		
Полосовой фильтр		$R_2=R \quad C_2=C$ $R_1=mR \quad C_1=\frac{C}{m}$ $f_0=\frac{160}{RC}$; $\frac{f_2-f_1}{f_0}=\frac{m}{1+2m}$	$R_2=R \quad C_2=C$ $R_1=mR \quad C_1=\frac{C}{m}$ $f_0=\frac{160}{RC}$; $\frac{f_2-f_1}{f_0}=\frac{1}{2+m}$

R, ком; C, мкф; f, гц

дии, когда анализатор должен реагировать на появление каждой ноты, необходимо применять фильтры с большей добротностью. Полоса их пропускания, как это видно по рис. 36, должна лежать в пределах 1—2 *гц* для самых низких частот музыкального диапазона и 200—300 *гц* для самых высоких. Такие значения добротности легко могут быть обеспечены с помощью избирательного усилителя с двойным *Т*-мостом.

Кроме чисто электрических анализаторов частоты звука возможно применение механических и электромеханических анализаторов.

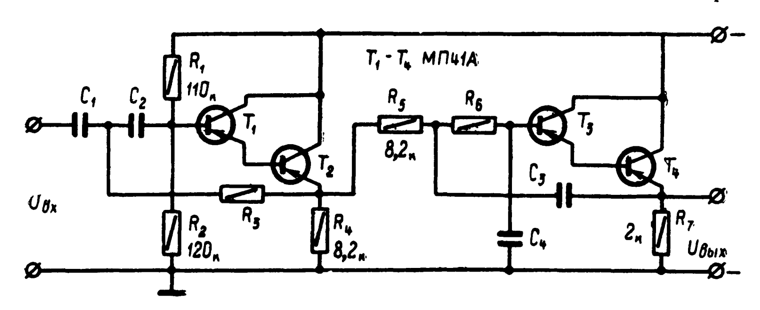


Рис. 39. Полосовой фильтр, составленный из активных ФНЧ и ФВЧ.

Таблица 3

Полоса пропускания, *гц*	C_1	C_2	C_3	C_4	R_3	R_6
50—100	0,2 *мкф*	0,1 *мкф*	1,0 *мкф*	0,057 *мкф*	10 *к*	5,6 *к*
100—200	0,11 *мкф*	0,035 *мкф*	0,4 *мкф*	0,03 *мкф*	8,2 *к*	8,2 *к*
200—400	0,057 *мкф*	0,015 *мкф*	0,2 *мкф*	0,015 *мкф*	9,1 *к*	8,2 *к*
400—800	0,03 *мкф*	0,01 *мкф*	0,1 *мкф*	6 800 *пф*	8,9 *к*	8,2 *к*
800—1 600	0,0115 *мкф*	6 800 *пф*	0,05 *мкф*	3 300 *пф*	5,6 *к*	6,8 *к*
1 600—3 200	8 400 *пф*	1 000 *пф*	0,025 *мкф*	1 500 *пф*	6,8 *к*	7,5 *к*

Анализ некоторых параметров музыкального воздействия

После определения сигналов, характеризующих интенсивность и частоту звука, можно формировать сигналы, соответствующие степени ощущения, вызываемого ими или их изменениями.

Логарифмирование исходных сигналов, необходимое для моделирования закона Вебера — Фехнера, производится, напри-

мер, с помощью функционального преобразователя на диодах (рис. 40).

Для формирования сигнала, характеризующего скорость изменения любого из интересующих параметров, используется дифференцирующая цепочка, на вход которой подаются исходные сигналы. От величины $\tau = RC$ зависит качество дифференцирования.

При упрощенном анализе скорости изменения частоты звука не обязательно предварительно находить точные значения самой частоты $f_{зв}$ с помощью узкополосных фильтров (как это необходимо делать при точном анализе мелодической кривой). Достаточно иметь усилитель с линейной зависимостью коэффициента усиления от $f_{зв}$.

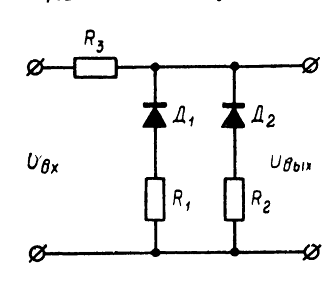


Рис. 40. Логарифмический четырехполюсник.

Примеры использования других типов решающих схем приводились ранее. Так, в схеме, показанной на рис. 38, при выделении огибающей используется интегрирующая RC-цепочка, а на выходе — сумматор двух сигналов.

Комбинируя такие простейшие и другие известные функциональные преобразователи и решающие усилители, можно определять некоторые элементарные параметры музыкального воздействия. Это дает возможность строить программирующие устройства, которые на основе простейших алгоритмов позволяют синтезировать музыку и свет хотя бы на том уровне, когда уже не раздражается зрение, и учитываются некоторые общезначимые закономерности «цветного слуха». Каким образом это производится в конкретных известных АСМУ, описано в гл. 6.

Примитивность программы первых АСМУ не должна удивлять. Ведь автоматам еще не доступно даже то, с чем человеческое ухо справляется мгновенно. Взять хотя бы к примеру анализ и распознавание самого простого «параметра» музыки — тембра. В техническом отношении задача эта почти такой же сложности, как машинный анализ и синтезирование человеческой речи, над чем бьются сейчас ученые многих стран.

Конечно, не так трудно опознать тембр одного инструмента, когда он звучит на одной ноте. Для этого автомату достаточно определить, каково распределение энергии между обертонами и основным тоном. Но при воспроизведении мелодии тон у любого инструмента постоянно меняется по высоте, и вместе с ним в той же пропорции меняется и высота обертонов. Представьте еще теперь, что звучит не один инструмент.

Столь же трудно пока проводить машинный анализ и классификацию аккордов, автоматическое распознавание тональностей, особенно в современной музыке. Это задача посильна лишь ЭВМ с большой памятью.

Конструированию оригинальных БУ поможет знакомство с литературой по электромузыкальным инструментам и машинному сочинению музыки, поскольку и там рассматриваются вопросы формализации музыкального языка и моделирования элементов творчества.

Обязательно необходимо изучить [Л. 115—117].

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СВЕТОМУЗЫКАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

«Если бы краскам цветового клавесина сообщить и рисунок, то изобретатель заслужил бы золотой памятник.»
(И.-Л. Гофман, XVIII в.)

Светомузыкальные инструменты с пространственной организацией света

Последовательно проводя мысль о полной аналогичности «музыки цвета» слышимой музыке, Кастель и его последователи наивно верили в существование не только «цветовых клавесинов», но и неких «цветовых скрипок», «цветовых флейт», излучающих цвет так же,

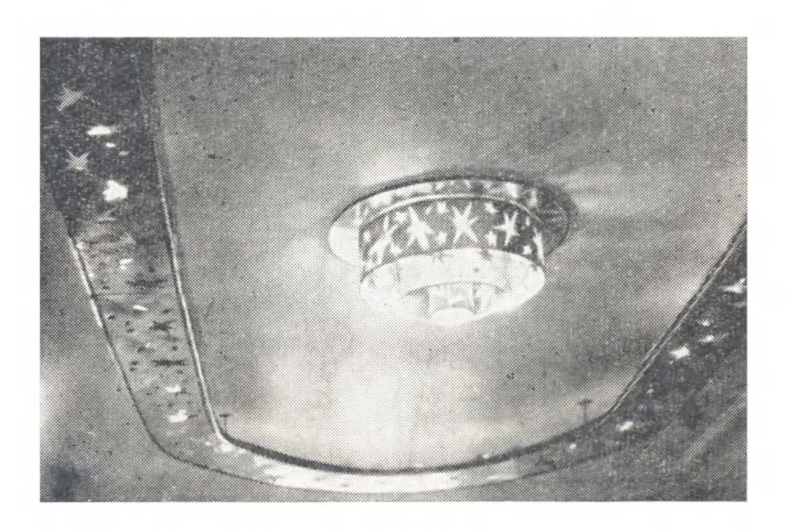


Рис. 41. СМИ музея А. Скрябина (проект М. А. Скрябиной, дочери композитора, 1949 г.)

как излучают звук обычные скрипки и флейты [Л. 29, 30]. Но вспомним Маркса — «*глазом* предмет воспринимается иначе, чем *ухом*, и предмет глаза — иной, чем предмет уха». Именно своеобразие «предмета глаза вызвало к жизни такие светомузыкальные неологизмы как «клавилюкс», «музископ», «оптофон». Новое искусство требовало новых инструментов, не подражающих звуковым, а особых, с организацией света в формы.

После Скрябина в первые же послереволюционные годы СМИ пытались строить В. Баранов-Россинэ, Г. Гидони [Л. 13, 44,], О. Майзель [Л. 26], П Кондрацкий [Л. 53]. Уже после войны при

содействии президента АН СССР С. Вавилова в музее А. Скрябина была смонтирована установка для исполнения «Прометея» со статическими трафаретами (рис. 41).

В 1962 г. в Казанском авиационном институте была изготовлена стационарная установка «Прометей-I» (авторы проекта и конструкторы Ю. Коваленко, Г. Пронин, О. Шорников). За полупрозрачным экраном размером 180 *м*^{2} было равномерно размещено более 1 000 ламп накаливания по 15 *вт*, окрашенных в семь цветов. Каждый цвето-

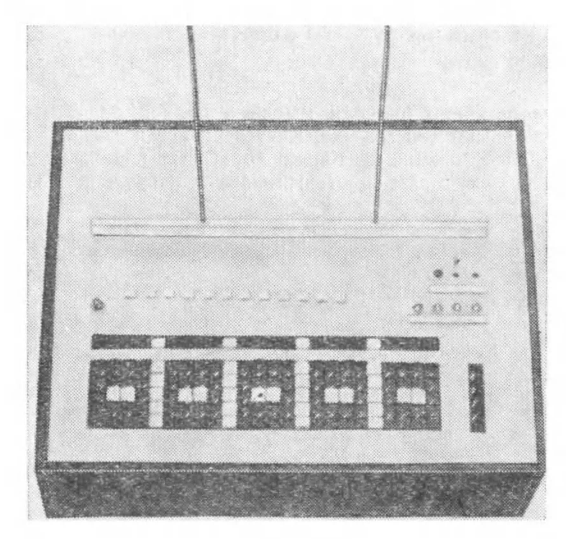


Рис. 42. Один из пультов установки «Прометей-II». (авторы проекта Ю. Коваленко, С. Андреев, Б. Галеев, Р. Даминов и др.).

вой канал управлялся с пульта посредством автотрансформаторов (ЛАТР 3 *квт*). На этом СМИ впервые в СССР было проведено концертное исполнение «Прометея» Скрябина с воспроизведением строчки «Luce» [Л. 2, 21].

В 1963 г. в СКБ «Прометей» была разработана установка «Прометей-II» растрового типа, позволявшая получать пространственную динамику света. За экраном в 120 *м*^{2} находились 120 кассет с пятью лампами накаливания разного цвета в каждой. Музыканты с помощью пяти пультов (рис. 42) формировали пятна различных очертаний и перемещали их по экрану согласно партитуре. В 1963—1964 гг. на этой установке были исполнены световые композиции на музыку Скрябина, Римского-Корсакова, Мусоргского, Стравинского, Яруллина [Л. 20, 21]. Основной недостаток этого СМИ — низкая разрешающая способность растра.

По такому же принципу работал СМИ для проведения спектакля «Звук и Свет», посвященного 25-летию Победы над Германией (Казань, 1970). Только источниками света служили мощные прожекторы, а экраном — монумент Павшим и окружающий ландшафт. Кроме то-

го, оператор мог «перемещать» по площади воспроизводимые через громкоговорители звуки — речь, музыку, шумы [Л. 42].

В 1966 г. СКБ «Прометей» демонстрировало на ВДНХ СМИ меньших габаритов «Кристалл». Выходное оптическое устройство инструмента выполнено в виде октаэдра из прозрачного органического стекла, внутри которого находится матовый куб, в свою очередь содержащий октаэдр с источниками света пяти цветов (рис. 43). С по-

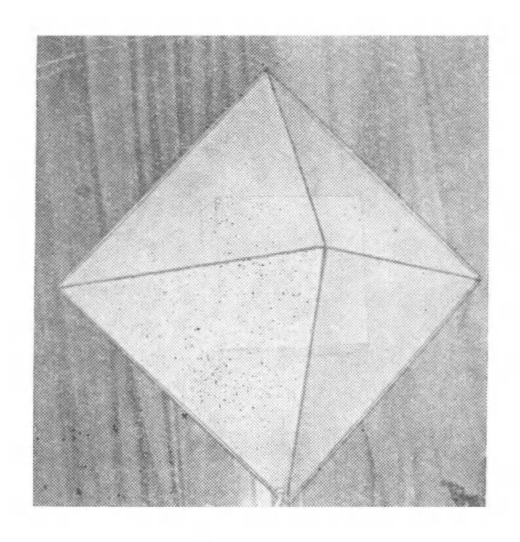


Рис. 43. СМИ «Кристалл» (автор проекта Б. Галеев, конструкторы Р. Даминов, И. Галиуллин, Э. Шамиев, А. Салахиев, Р. Сайфуллин).

мощью клавиатуры исполнитель мог независимо менять цвет каждой грани «Кристалла». Блок управления мощностью выполнен на тиратронах Мощность каждого цветового канала — 500 *вт* [Л. 16, 20, 21]. Музыкант может управлять общей яркостью включенных ламп с помощью ножных педалей или, в случае необходимости, применить автоматическое регулирование яркости в зависимости от громкости звука — как в прямой зависимости, так и в обратной. Основной недостаток «Кристалла» — дискретный характер цветовых переходов.

В 1963—1966 гг. в Ленинградском институте авиационного приборостроения была разработана серия СМИ фронтальной диапроекции «Люкс-I», «Люкс-II», «Люкс-III» (конструкторы И. Модягин, Ю. Кошевой). Последний демонстрировался на ВДНХ. Выходное оптическое устройство его выполнено на серийных ксеноновых прожекторах ПКП-I-250 в 1 *квт*, внутри которых на пути луча размещаются диафрагма и графареты из фольги, поворачиваемые с помощью соленоидного ЭИМ (катушка от громкоговорителя). Пульт выполнен в виде обычной фортепианной клавиатуры. Предусмотрена запись

световой партии на магнитную ленту посредством частотного разделения каналов с амплитудной модуляцией несущих частот.

В 1965 г. в Московском авиационном институте был сконструирован СМИ с очень оригинальным решением пульта. Музыкант управлял яркостью света в каждом канале, как в терменвоксе, приближая руку к управляющим элементам — металлическим дискам.

В светомузыкальных инструментах «Зала светомузыки» при харьковском ЦПКиО (различные варианты 1966—1971 гг.) используется

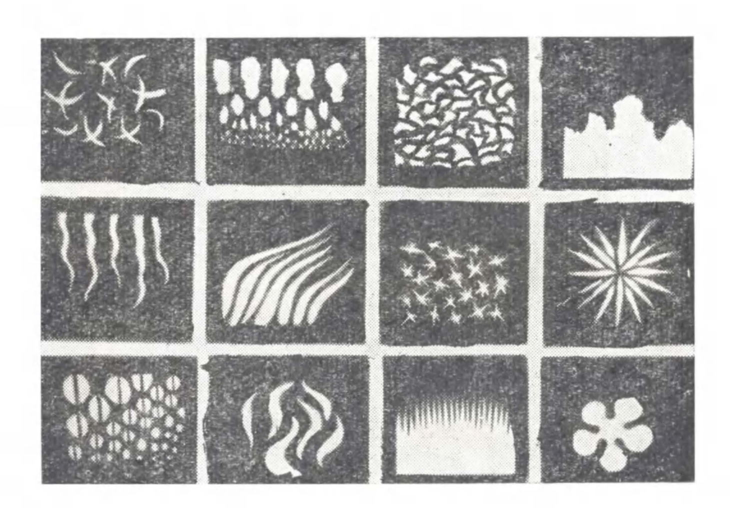


Рис. 44. Статические трафареты, подготовленные Ю. Правдюком для исполнения одной из своих светокомпозиций.

транспарантная проекция с трафаретами «барабанного» типа в сочетании со статическими, которые устанавливаются перед «барабанами» (рис. 16 и 44).

Площадь экрана равна 13,5 *м*^{2}. Блок управления мощности выполнен на шести автотрансформаторах ЛАТР-1м по 2 *квт* каждый. В качестве ЭИМ применены двигатели СД-2 и РД-09. Источником света служат лампы накаливания, в основном НБ 100 *вт*, 127 *в*, работающие в перекале. На этом СМИ конструктором его, Ю. Правдюком, исполнялись световые интерпретации, Вагнера, Дебюсси, Скрябина, Шостаковича [Л. 16, 61, 64].

Светомузыкальный инструмент полтавской «Лаборатории цветодинамических устройств» (автор проекта — С. Зорин) демонстрировался на ВДНХ в 1970 г. В нем используется рирпроекция транспарантного типа. Трафареты — дисковые. Источники света — лампы накаливания, светофильтры — пленочные. Предполагается изготовление отдельных световых блоков кубической формы, в которых проекция будет осуществляться на каждую грань. Из этих блоков возможно комбинирование различного рода светодинамических конструкций,

взаимодействующих с музыкой [Л. 62]. Различные модификации такого СМИ предлагались и другими конструкторами — например, установка «Малахит» [Л. 39]. Основной недостаток СМИ с транспарантной проекцией — трудность плавного изменения цвета полученных



Рис. 45. Изображение на экране «клавилюкса» Т. Уилфреда (США, 1922).

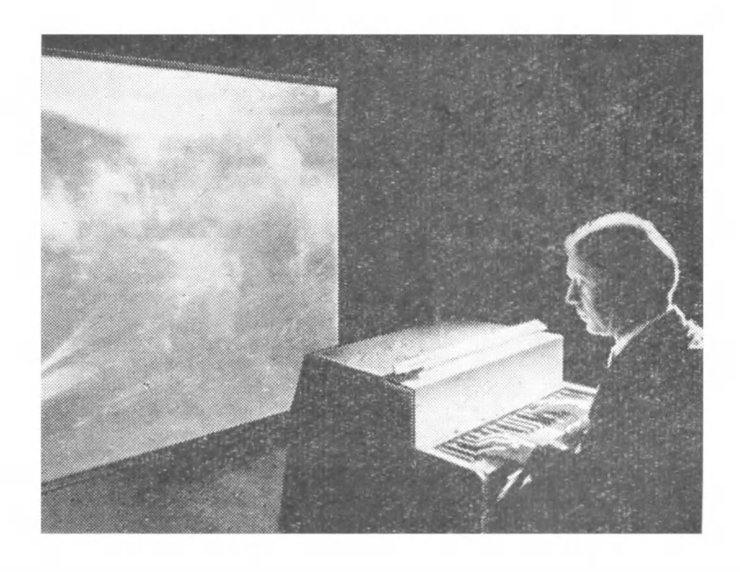


Рис. 46. Французский светохудожник Н. Шеффер за пультом своего «музископа» (1961 г.).

фигур и ограниченные возможности в управляемой трансформации их.

В светомузыкальных инструментах Московской экспериментальной студии электронной музыки при фирме «Мелодия» (авторы проекта Е. Мурзин, М. Малков, Н. Соловцев, 1965—1972 гг.) используется в основном фронтальная диапроекция на экран вогнутой формы (площадь 100 $м^2$). Трафареты — плоского и объемного типа. Часть ВОУ выполнена на основе стандартного кинопроектора «Ксенон». Управление яркостью — с помощью диафрагмы. Оригинально решено управление цветом — белый свет разлагается через последовательность призм в широкий спектр, из которого затем с помощью несложного «гребешка» вырезают необходимые зоны [Л. 54].

В другом варианте предлагалось остроумное решение проблемы охлаждения светофильтров, работающих в мощном световом потоке. Выполненные в виде склеенного из одноцветных полосок диска, они вращаются, охлаждаясь, перед объективом проектора. Число световых каналов 26. Исполнительными устройствами служат двигатели типа РД-09. Управляют ими с помощью полупроводниковых усилителей, разработанных и изготовленных в СКБ «Прометей» [Л. 16]. Предусматривается возможность предварительной записи отдельных элементов световой партии на магнитную ленту для последующего одновременного воспроизведения их на одном экране. Из зарубежных наиболее известны СМИ англичанина А. Клейна [Л. 34], венгра А. Ласло [Л. 35], американца Т. Уилфреда (рис. 45) [Л. 34] и француза Н Шеффера (рис. 45) [Л. 37].

Автоматические установки с бесформным цветом

Существующие АСМУ можно подразделять на группы по разным признакам — и прежде всего, по типу ВОУ, которое может быть моноцветным (бесформным) или с пространственной организацией света. Кроме того, АСМУ различаются сложностью БУ, определяемой параметрами, по которым производится анализ музыки, и алгоритмами синтезирования музыки и света.

Простейшие из них, конечно, моноцветные. Стремясь добиться «визуализации музыки», Кастель связал каждую ноту с определенным цветом спектра (следующая, выше по регистру, октава окрашивалась также по спектру, но уже цветами меньшей насыщенности). Автоматизировать подобную «цветомузыку» проще простого — достаточно под каждой клавишей фортепиано или органа закрепить контакты, включающие лампы соответствующего цвета.

Убедившись в бессмысленности получающихся на экране мельканий цвета, конструкторы предлагали связывать спектр не с октавой, а со всем диапазоном музыкальных звучаний. В конечном итоге эта идея и воплотилась в автоматические установки с частотно-амплитудным анализом музыки, в которых однозначно и жестко с основными параметрами звука (т. е. с высотой или частотой $f_{зв}$ и интенсивностью $I_{зв}$) связываются какие-либо параметры красочного изображения (обычно это цвет, определяемый через длину волны λ, и его интенсивность $I_{св}$).

Эффект светозвука, т. е. ощущение единства между воздействием звука и света, как, известно, возникает уже в простейшем случае синхронизации интенсивностей $I_{зв}$ и $I_{св}$:

$$\left|\frac{\Delta I_{св}}{\Delta t}\right| = k_I \left|\frac{\Delta I_{зв}}{\Delta t}\right|. \qquad (6)$$

Разумеется, когда вместе с этим устанавливается еще и такая связь:

$$\left|\frac{\Delta\lambda}{\Delta t}\right| = k_\lambda \left|\frac{\Delta f_{зв}}{\Delta t}\right|, \qquad (7)$$

ощущение единства усугубляется.

Какого единства? Примитивнейшего, противоречащего не только эстетическим законам, но и ряду общезначимых закономерностей

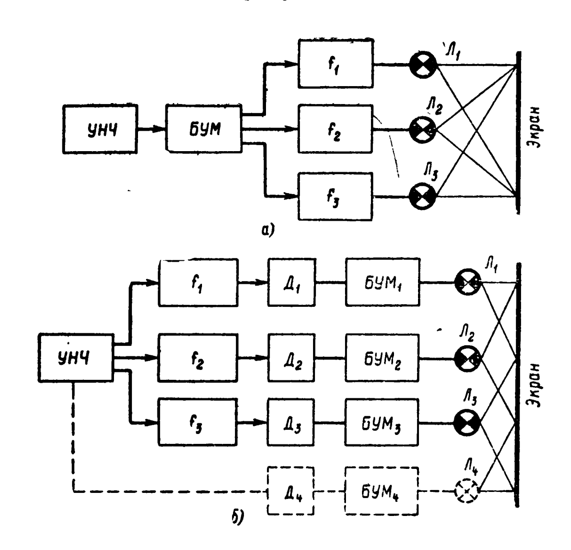


Рис. 47. Схемы простейших АСМУ с частотно-амплитудным анализом музыки.

f_1, f_2, f_3 — электрические фильтры, $Д_1$, $Д_2$, $Д_3$, $Д_4$ — детекторы, УНЧ — звуковоспроизводящее устройство, $Л_1$, $Л_2$, $Л_3$, $Л_4$ — источники света.
а — схема АСМУ с одним БУМ; *б* — схема АСМУ с отдельными БУМ на каждый регистр.

«цветного слуха» (см. стр. 18). Ложность избранного пути становилась очевидной и для самих конструкторов. Но, простые в схемном решении, такие АСМУ поначалу получили очень широкое распространение (в основном в таких модификациях, как показано на рис. 47).

В этих установках по сути дела моделируется окрашивание в разные цвета регистров музыки, а не высоты, как элемента мелодии.

В схеме, показанной на рис. 47, *а*, имеется всего один БУМ, зато фильтры f_1, f_2, f_3, находящиеся на его выходе (обычно это пассивные *LC*-фильтры), должны быть рассчитаны на большие токи, питающие непосредственно ВОУ.

На рис. 47, *б* слабомощные фильтры помещены на входе отдельных БУМ.

Так как высота звука в музыке связана с частотой звука $f_{зв}$ логарифмически, то деление звукового диапазона на равномерные (для слуха) участки производится по шкале $\log f_{зв}$ (рис. 36), при-

чем следует учитывать то, что предельно высокими в музыке являются звуки 3 000—4 000 *гц*, а за ними находятся уже собственно обертоны. Поэтому фильтр высоких частот настраивается не на 16—20 *кгц*, как это ошибочно делают радиолюбители, а на 2—4 *кгц* и менее.

Количество фильтров может быть и три, и более. Ширину полосы пропускания их (относительно $\log f_{зв}$) не следует брать одинаковой, так как, согласно графику, приведенному на рис. 36, звуки средних частот используются чаще, чем низкие и высокие, и поэтому чтобы цвет, связанный с фильтрами средних частот f_2, не «забивал» остальные цвета, необходимо у фильтров f_2 полосу сделать более узкой.

Коэффициенты k_λ и k_I обычно предполагаются конструкторами постоянными, но, как и для k_I, неодинакового для разных уровней громкости и участков звукового диапазона (в зависимости от используемых БУМ и источников света), так и для k_λ характерна зависимость от свойств выбранных электрических фильтров.

Если, к примеру, необходимо добиться линейной зависимости между цветом и высотой звука, то применяются фильтры с характеристиками, показанными на рис. 48, *а*, причем точки пересечения графиков выбираются так, чтобы суммарная яркость источников света при последовательном прохождении через фильтры звуков всего диапазона с равной громкостью была постоянной (для этого надо учитывать зависимость светового потока источника света от напряжения).

Если же конструктор хочет получить эффект не плавного, а резкого перехода цветов при плавном переходе звуков в другой регистр, то применяются фильтры, характеристики которых показаны на рис. 48, *б*. В некоторых случаях при определенном подборе оркестра (рис. 37) получается уже привлекательный эффект автоматического «окрашивания» тембров инструментов: контрабас, например, красным, саксофон — зеленым, колокольчики — синим цветом. Но в получающейся цветовой «инструментовке» музыки столько же смысла и художественности, сколько в пресловутой трехцветной анилиновой пленке, превращающей обычный телевизор в «цветной»: ведь и она срабатывает *иногда* «по-умному», крася небо — синим, лес — зеленым, землю — желтым цветом...

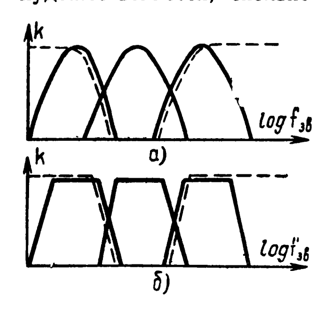


Рис. 48. Возможные характеристики электрических фильтров АСМУ. Пунктиром обозначен упрощенный вариант решения крайних фильтров.

Иногда в подобные АСМУ вводится с учетом адаптационных свойств глаза самостоятельный канал паузной засветки (рис. 47, *б* — обозначено пунктиром), в котором яркость источников света связана обратно пропорционально с громкостью музыки.

Именно поэтому в формуле (6) отношение берется по абсолютной величине. Кстати, по абсолютному же значению взяты и отношения частот в формуле (7). Почему? Потому, что все равно, с какого конца спектр — с красного или с синего — связывает-

ся с началом звукового диапазона. Так как не существует связи между частотами звуковых и световых колебаний, разные конструкторы с равным успехом связывают с одними и теми же фильтрами любые цвета спектра.

Можно указать лишь на одну предпочтительную связь, собственно, имеющую уже отношение не к цветности, а к светлотным характеристикам цвета. Звуки высокого регистра кажутся более «светлыми», «яркими», чем низкие. А в спектре, несмотря на их 100%-ную насыщенность, желтые и голубые цвета выглядят более светлыми, чем сильнонасыщенные, густые цвета с краев спектра — красные и фиолетовые. Поэтому, если уж стремиться к более близкому «цветному слуху» ряду соответствий между регистрами звука и цветами, то низкие звуки надо «окрашивать» красным, фиолетовым, пурпурным цветом, а высокие — зеленым, голубым, желтым, белым.

Кроме того, в канале низких частот, где звуки «малоподвижны», «инертны», «тяжеловесны», целесообразно величину постоянной времени τ сделать большей, а в канале высоких частот — минимальной.

Существует огромное количество опубликованных схем такого рода бесформных АСМУ. Если и стоит здесь приводить их унылый перечень, то только затем, чтобы рекомендовать использовать отдельные узлы этих схем для изготовления более интересных и не таких скучных устройств. Конструктор может выбрать из предлагаемой литературы АСМУ с БУМ разной мощности (от нескольких ватт до десятков киловатт, выполненных на механических элементах [Л. 54,58], на электронных лампах [Л. 40, 45, 51, 55, 63, 96], на транзисторах [Л. 48, 51, 55, 63, 94], на магнитных усилителях [Л. 57, 60], на тиратронах [Л. 47, 94], тиристорах [Л. 83—85, 89, 90, 94—96], симметричных тиристорах [Л. 86]; с ВОУ, содержащими не только лампы накаливания, но и другие источники света [Л. 66], не только светофильтры, неподвижные или вращающиеся [Л. 55, 64, 66], но и призмы [Л. 47, 59].

На выбор среди них — различные электрические фильтры: *LC*-фильтры, простейшие, трехполосные, какие обычно употребляют в акустических системах, для разделения диапазонов [Л. 49—51, 60, 87, 97], и с большей избирательностью [Л. 47, 86, 88]; *RC*-фильтры пассивные [Л. 48—50, 55, 63] и активные [Л. 74, 83, 94].

Вера в возможность и необходимость цвето-звукового «перевода» была настолько сильна, что (несмотря на явную мизерность зрелищного эффекта, прежде всего из-за отсутствия форм в цвете) подобные АСМУ были рекомендованы некоторыми конструкторами для серийного производства. И у нас в стране (из разработок «Акация», «Самоцвет», «Гамма» этой чести удостоилась «Гамма-В» [Л. 60, 61], до сих пор заполняющая полки радиомагазинов), и за рубежом (устройства американских фирм «Colortron company», «Benjamin», «Eico», «Edison Instruments», [Л. 90, 95] английской фирмы «Dawe Lightomation» [Л. 89]).

Необоснованно активное рекламирование примитивных, подобных «Гамме», АСМУ, противопоставляемых к тому же зачастую СМИ, как более «объективных» и «основанных на научных данных», привело к вполне объяснимой негативной реакции —прежде всего со стороны музыкантов. «Эта крайне упрощенная схема имеет такое же отношение к музыке, как детские переводные картинки к живописи», — писал музыковед В. Блок в 1965 г. [Л. 53]. В следующем году группа советских известных музыкантов выступила с открытым письмом «Непродуманный опыт», подчеркивая, что пропаганда таких

АСМУ, как «цветомузыкальных», без должного различения их от подлинной светомузыки вызывает у них «недоумение и серьезную тревогу» [Л. 23].

Последствия подобных «непродуманных опытов» особенно опасны тем, что многие критики по инерции переносят отрицательную оценку на светомузыку вообще. «В лучшем случае, цветомузыка может быть забавным развлечением, игрушкой, музыкальным калейдоскопом» — писал до знакомства с возможностями СМИ и с другими идеями один из крупнейших советских искусствоведов [Л. 3]. Собственно, это мнение критика относится даже не к «Гамме», а к более сложному АСМУ «Цветомузыка» НИИ автоматики и телемеханики АН СССР, сконструированному в 1959 г. и демонстрировавшемуся несколько лет в павильоне «Радиоэлектроника» ВДНХ и на советской выставке в Лондоне [Л. 14, 17—19].

Программа этого АСМУ также основана на стремлении к однозначному «переводу звуковой информации в световую» [Л. 57, 58], причем в стремлении сохранить количество информации при предполагаемом «переводе» световое сопровождение сознательно ограничивается бесформным цветом, меняющимся только по яркости α' *, цветовому тону γ' и насыщенности β'. Звуки же (опять-таки, именно звуки, не музыка!), по мнению конструкторов этого АСМУ, характеризуются громкостью α, насыщенностью β, контрастностью по громкости σ и контрастностью по спектральным характеристикам γ. Под контрастностью эти конструкторы понимают то, насколько меняется высота или громкость за какой-то определенный промежуток времени. Насыщенностью они характеризуют спектральный состав звука (если звук близок к шуму, то β мало, если к чистому гармоническому тону, то β максимально).

Эти параметры связывались в данном АСМУ так:

$$\alpha \sim \alpha'; \quad \gamma + \sigma \sim \gamma'; \quad \beta \sim \beta'. \tag{8}$$

Иначе говоря, если имеем звучания с большими перепадами по высоте и громкости (т. е. музыка «бурная», «динамичная»), то экран светится красным, оранжевым (т. е. напряженным, возбуждающим) цветом Если эти перепады малы, то и цвета вырабатываются спокойные (синие, фиолетовые). Чем проще, чище по составу звук, тем больше насыщенность цвета.

Действие данного АСМУ объясняется рис. 49.

С микрофона (или магнитофона *1* после усилителя НЧ *2* электрические сигналы поступают на интегрирующую цепочку *3*, включенную в канал управления яркостью света α' *4* и на нелинейный элемент *5*, который совместно с низкочастотным фильтром *6* включен последовательно в канал управления мерцанием света *7* (мерцание здесь зависит от наличия низкочастотных акустических биений звука). Одновременно с выхода блока *2* сигналы поступают на вход слухового анализатора *8*. К одному выходу его перед каналом управления цветностью γ' *9* включен блок запоминания *10* и блок опрсделения числа совпавших между собой спектральных составляющих. Ко второму выходу анализатора *8* перед каналом управления насыщенностью β' *12* подключен блок определения общего числа спектральных составляющих *13*. Сигналы, полученные на выходе каналов *4*, *7*, *9*, *12*, подаются на ВОУ *14*.

Для выделения параметра γ, характеризующего скорость изме-

* Сохраняем авторское обозначение параметров.

нения высоты звука, предварительно определяется сама высота, для чего производится нормализация звукового сигнала (т. е. приведение к одному уровню громкости). Нормированный сигнал пропускается через усилитель, частотная характеристика которого в звуковом диапазоне линейна. Затем сигнал дважды детектируется и усредняется (с постоянными времени $\tau=0{,}1$ *сек* и $\tau=0{,}01$ *сек*), в результате чего и определяется γ. Нормирование производится либо механическим путем (с помощью автоматического потенциометра ЭПП-09), либо обычным клиппированием звукового сигнала.

Параметр α определяется с помощью обычной детектирующей цепочки с последующим усреднением (τ подбирается соответственно условиям демонстрации).

Для получения сигнала σ сигнал α усредняется ($\tau_1=4$ *сек*), а затем дополнительно пропускается через дифференцирующую цепочку с $\tau_2=8$ *сек*.

Определение β связано с большим упрощением и не представляет большого интереса.

Используемый в АСМУ электронный «блок решения уравнения цветового четырехугольника» позволяет получить автоматически любой цвет с помощью аддитивного смешения заданных четырех основных.

Рис. 49. Блок-схема АСМУ «Цветомузыка» (авторы проекта и конструкторы К. Леонтьев, А. Лернер, А. Червоненкис, А. Жеренов, С. Хлебников и др.).

Блок управления мощностью выполнен на магнитных усилителях с дополнительным механическим диафрагмированием ксеноновых ламп ДКсШ-1000Б на низких уровнях, где эти источники света уже практически не управляются.

В ВОУ применены проекторы ПУС-1 и стандартные стеклянные светофильтры, предохраняемые от перегрева кюветой со специальной жидкостью. В первом варианте АСМУ экран был плоским, фронтальной проекции.

Ощущение единства между слышимым и видимым в данном АСМУ, разумеется, возникает, но опять-таки не за счет предполагаемого и ожидаемого «превращения» музыки в свет при «переводе», а все из-за того же эффекта светозвука, возникающего при синхронизации совмещаемых в этом АСМУ параметров.

«Данная программа на практике часто входит в противоречие с содержанием музыки, с эмоциями, вызываемыми ею. В известной степени обоснованная с точки зрения простейших закономерностей физиологии зрения и слуха, программа является случайной по отношению к закономерностям музыки и художественного восприятия». Таково было мнение музыкантов и искусствоведов, несогласных с тем, что воздействие музыки сводилось авторами АСМУ к простой ариф-

метической сумме воздействий контрастных и неконтрастных звучаний [Л. 3, 9, 22, 25, 29].

Но значение этого АСМУ следует оценивать прежде всего с тех позиций, что она явилась первой в нашей стране в послевоенное время разработкой, в большой мере стимулировавшей интерес общественности к проблеме светомузыки. Вместе с тем в АСМУ «Цветомузыка» решение отдельных узлов отличается такой оригинальностью и универсальностью, что позволило без больших затруднений переделать его в удобный, с грифовым пультом, СМИ, на котором в апреле 1962 г. в Москве была исполнена строка «Luce» Скрябинского «Прометея» (дирижировал К. Иванов [Л. 25]).

Исходя из того факта, что цвета в какой-то мере можно наделять определенными психофизиологическими характеристиками (красные, желтые цвета возбуждают; синие, фиолетовые угнетают), конструкторы установок цветового сопровождения УЦС (Ленинградский НИИ радиовещательного приема и акустики) выдвинули гипотезу, что множеству цветов однозначно можно сопоставить множество эмоций и, что это множество, как и в случае цветов, можно представить в виде «треугольника эмоций» (см. рис. 4 на вкладке).

Если совместить эти треугольники, то вдоль линии *О—Зеленый* расположится «ось комфорта» со знаком плюс, а вдоль линии *О—Фиолетовый* — со знаком минус. Вдоль линии *О—Желтый* расположится «ось возбуждения» со знаком плюс, а от *О—Голубой* со знаком минус. В точке *О* находится белый свет, обладающий, по мнению конструкторов, нейтральным, нулевым эмоциональным воздействием.

Вместе с тем, считают они, увеличение громкости связано с активными, а уменьшение—с обратными эмоциями. Увеличение высоты действует возбуждающе, понижение — наоборот. Построив две пересекающиеся оси «высота—громкость», они и ее наложили на цветовой треугольник (обозначено пунктиром), совместив «линию увеличения громкости» с «осью комфорта», а «увеличение высоты» — «с осью возбуждения». Понижение громкости и высоты связано с переходом через *О* в область голубых, фиолетовых цветов (неактивных, угнетающих).

Оптическое устройство одного из вариантов УЦС-5 изготовлено в виде торшера, который, кстати, может выполнять и свои обычные функции, освещая комнату любым желаемым цветом (авторы проекта М. Барзман, Б. Калнин). Имея цель запустить УЦС в серийное производство, конструкторы были вынуждены уделить особое внимание проблеме экономичности, поэтому в ВОУ УЦС-5 используются малогабаритные люминесцентные лампы ЛБ-13 (3 шт.) и ЛБ-15 (2 шт.), покрытые цветной пленкой. Из-за высокого напряжения питания этих ламп БУМ пришлось делать на электронных лампах [Л. 16].

Как это признают сами конструкторы, алгоритмы этих первых УЦС основаны пока на определенных упрощениях — содержание музыки в этом случае сводится к сумме элементарных воздействий громкостных и высотных интервалов. Конечной же своей целью они ставят разработку уже более сложных анализаторов и поиск алгоритмов более достоверного «перевода эмоциональной информации», что позволило бы обеспечить автоматическое сопровождение музыки такой последовательностью цветов, которая вызывала бы такие же эмоции, как и музыка.

Задача эта весьма сложная. Гипотетический автомат-анализатор идеальной УЦС должен уметь мгновенно (!) распознавать и класси-

фицировать не α, β, γ, δ и т. д., а — как минимальное условие — мелодии, музыкальные темы, запоминать их, следить за логикой их развития, определять и оценивать форму произведения, и уже через все это вырабатывать свое эмоциональное отношение к звучащей музыке. Сейчас известно лишь одной марки кибернетическое устройство такой сложности — человеческий мозг. Но и человек может проводить этот анализ не мгновенно, а лишь прослушав все произведение. И обязательно — в сопоставлении со своим личным эмоциональным опытом, что уже исключает однозначность оценки.

Таким образом, решению задачи «эмоционального перевода» препятствуют трудности не только технического порядка. Как показывает теория искусства, точно и однозначно не могут быть определены эмоциональные оценки не только для параметров музыки, но и для цветов [Л. 28].

Автоматические установки со статическими трафаретами и объемными экранами

И в «Гамме», и в АСМУ «Цветомузыка», и в УЦС-5 цели едины — добиться «визуализации» музыки путем однозначного «перевода» ее в цвет. Световое сопровождение при этом сознательно ограничивается бесформенным цветом, в неоправданном расчете на возможность сопоставлять и сравнивать воздействия сложнейших музыкальных произведений и простой последовательности меняющихся цветов.



Рис. 50. «Светомузыкальная» радиола «Бирюза». Свет проецируется на крышку.

Напротив, те конструкторы АСМУ, которые не задавались стремлением «превращать» слышимое в видимое, а пытались прежде всего добиться максимального зрелищного эффекта, те обязательно вводили пространственную, графическую динамику цвета, не усложняя при этом особо БУ.

Например, в модификации «Гаммы», радиоле «Бирюза» (рис. 50), кроме некоторого изменения программы (низкие частоты — красный, высокие — синий, паузная засветка — зеленый цвет), на пути луча поставлены неподвижные трафареты (небольшие бумажные полоски с вырезами). За счет этого на экране появилась, пусть хоть и не-

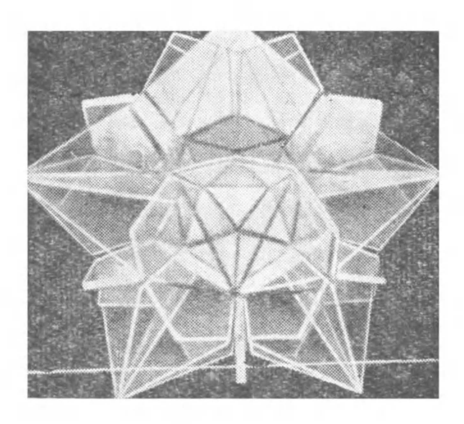


Рис. 51. Объемный вариант АСМУ «Цветомузыка».

сложная, но уже более впечатляющая, чем в «Гамме», игра теней (к радиоле приложен комплект таких трафаретов).

Достаточно, например, сделать экран хотя бы из мятой фольги (и освещать его сбоку со всех сторон [Л. 84—86]), достаточно спрятать лампочки не за плоским экраном, а за кусками стеклянного лома, поместить в «кристалл» из органического стекла—как даже обычная трехполосная схема начинает смотреться не без интереса (рис. 51). Такую АСМУ не стыдно поставить и в кафе и на эстраде. Английская фирма «Dawe Lightomation» поместила, например, источники света своей АСМУ «Colour columm» за экран из шелковых тканей, создающих муаровый эффект [Л. 92].

Из современных отечественных установок известность получила АСМУ «Самоцвет» (конструктор А. Михненко). Общий вид ВОУ показан на рис. 52. Так называемая «система фона» с мощными инерционными лампами работает по такой программе — красный цвет связан прямо с общей громкостью (или постоянно горит на низком уровне), фиолетовый — цвет паузной засветки, связан с громкостью обратно пропорционально. Зеленый, голубой, желтый тем ярче, чем выше частота. «Система рисунка» собрана на маломощных, безынер-

ционных лампах, позволяющих четко «отсвечивать» ритм музыки. Программа ее чуть иная. Красный цвет связан с понижением частоты, зеленый, голубой и желтый, как и в системе фона — с ее повышением. Блок управления мощностью «системы фона» собирается или на тиристорах (рис. 33), или на магнитных усилителях (рис. 29); системы рисунка — на транзисторах [Л 57].

Конструктором разработано еще несколько вариантов подобных АСМУ разной мощности и назначения [Л. 58]. Одна из них под на-

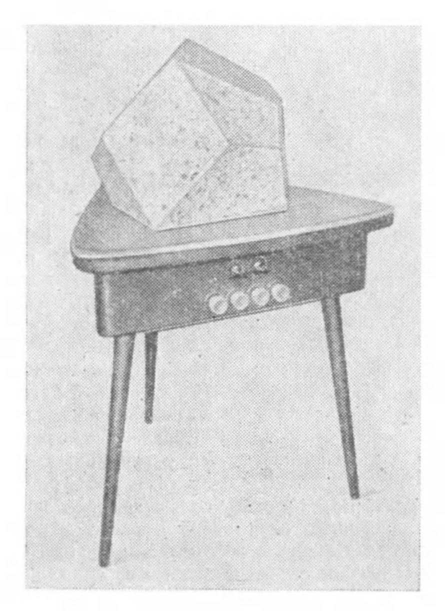


Рис. 52. ВОУ АСМУ «Самоцвет».

званием «Андромеда», огромных размеров (ширина экрана 3 *м*, высота 18 *м*), мощностью 100 *квт*, установлена в 1971 г. в Измайловском парке Москвы. В логику АСМУ внесены некоторые изменения, оператор может вмешиваться сам в управление светом, в ВОУ применены подвижные трафареты.

В АСМУ «Радуга» Дворца пионеров г. Свердловска (конструкторы А. Гордин, А. Аранович) имеется возможность переключать источники трех цветов, находящихся на выходе каждого из восьми каналов вручную с помощью штырькового разъема. Зритель может для каждого произведения подбирать свою логику цвето-регистровых соотношений, что намного увеличивает художественный эффект.

Блок управления мощностью выполнен на электронных лампах, оптическое устройство — в виде неправильной формы кристалла. Источники света — лампы накаливания 127 *в*, 75 *вт*. «Радуга» демонстрировалась на ВДНХ и на выставке творчества советских школьников за рубежом [Л. 45].

Особой формой создания и применения таких АСМУ является сочетание их ВОУ с другого рода объемными декоративными объектами — елки, витрины и т. д. [Л. 55].

Автоматические установки с пространственной динамикой света

Тени от статических трафаретов однообразны. Заставьте их не только двигаться, но и меняться — даже схема той же «Гаммы» приобретает новую жизнь, уже не говоря о других, более продуманных проектах (рис. 53). И тем более, если параметры движения и изменения этих форм каким-либо образом связаны с музыкой.

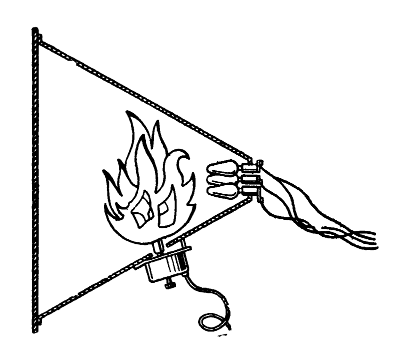


Рис. 53. Простейшее АСМУ с объемным трафаретом.

Но и самыми простейшими способами не следует пренебрегать. Если направить лучи от мощной бесформной АСМУ не сразу на экран, а хотя бы на такие подвижные зеркальные отражатели, которые показаны на рис. 54. Легкомысленно? Но и музыка, которую можно сопровождать такой игрой света, должна быть легкой. Свет, в данном случае — лишь приправа к танцевальным ритмам.

Много резервов таится в совмещении рассмотренных выше моноцветных АСМУ с установками «танцующего света».

Устройство и алгоритм работы этих установок очень просты — в них, по сути дела, реализуется всего навсего одно соответствие музыки и света, причем зачастую в самом упрощенном виде — в виде светового подчеркивания ритма музыки, без градаций по яркости. Зато свет в установках «танцующего света» не просто заполняет весь экран, а перемещается, двигается по нему.

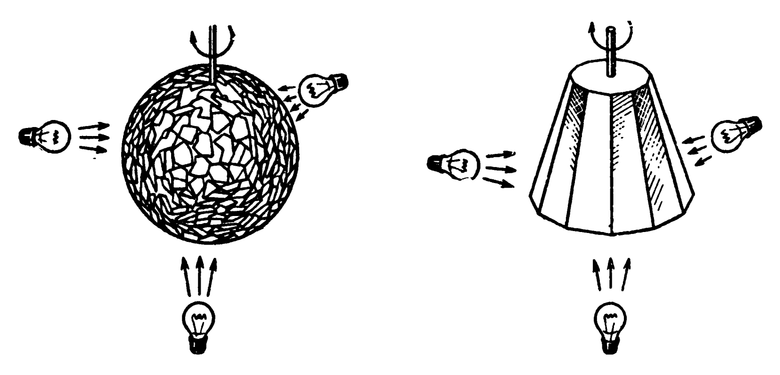


Рис. 54. АСМУ для оформления танцзалов.

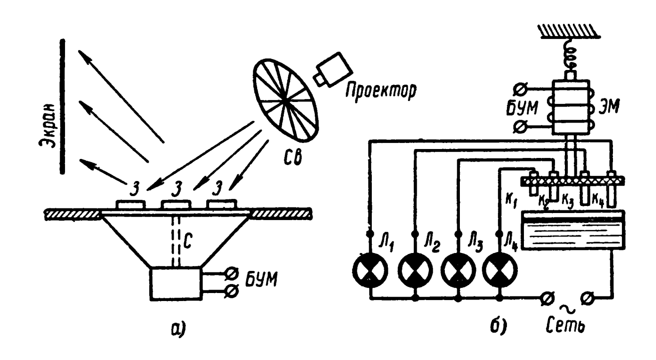


Рис. 55. Установки «танцующего света».

Например, известно такое устройство (рис. 55, *б*).

Катушка электромагнита *ЭМ* питается от *БУМ*, подключенного параллельно громкоговорителю. В зависимости от громкости музыки вступают в соприкосновение с проводящей жидкостью контакты $К_1$, $К_2$, ..., $К_{ji}$, замыкающие цепи с источниками света $Л_1$, $Л_2$, ..., $Л_i$ произвольной окраски, которые могут представлять собой группы ламп, образующих на экране какую-либо затейливую комбинацию, составленную художником. Вспыхивающие в разных местах экрана лампы будут как бы «оттанцовывать» ритм музыки.

Такой же прихотливый перепляс красок под музыку получается в следующем АСМУ (рис. 55, *а*). Рупор громкоговорителя, который обычно закрывается декоративной тканью, затянут резиновой пленкой. На нее наклеиваются очень легкие зеркальца различной формы. На эти зеркальца падают лучи цветного света, которые затем направляются на экран. Для разнообразия эффектов на пленку под некоторые зеркальца наклеиваются нитки, ограничивающие свободу их движения. Окрашенный свет можно получать с помощью проектора и медленно вращающегося разноцветного дискового светофильтра *Св*.

Существует модификация подобного АСМУ. Электромагнит через сердечник *С* (рис. 55, *а* — пунктиром) заставляет подпрыгивать под музыку и перемещаться уже на жесткой мембране свободно лежащие зеркальца разной массы и формы. Помещая такое устройство или снова просто на пути лучей, или в стандартный эпидиаскоп, можно получить на экране красочную, пульсирующую под музыку картину [Л. 8i].

За рубежом выпускаются серийные АСМУ такого рода, но в отличие от установок с частотно-амплитудным анализом, они носят название не «colorgan», а «Music-Vision» (видимая музыка) [Л. 88]. Если взять не одну, а несколько установок «танцующего света», таких, как показанная на рис. 55, *б*, и питать их независимо от своих БУМ, управляемых сигналами от различных фильтров, зрелищный эффект намного увеличивается.

Еще интереснее такую операцию проделать с установками, показанными на рис. 55, *а*. Облучать их следует уже не посторонним све-

том, а тоже связанным с музыкой, причем можно и источник света, и соответствующий электромагнит питать в одном случае от одного и того же БУМ, а в другом — специально «перепутать» их. Положим, проектором управляет БУМ, связанный с фильтрами низких частот, а электромагнитом — другой БУМ, связанный уже с высокими или средними частотами. Не нарушая в целом эффекта светозвука, такая комбинированная АСМУ начнет воспроизводить, хотя и элементарные, бессмысленные, но вносящие разнообразие в картину, моменты «полифонии» в развитие форм и цвета!

Для изобретательного ума здесь открывается обширнейшее поле деятельности.

Феерически-красочная картина получается, например, в поляризационных АСМУ с использованием некоторых жидкостей, которые под действием электрического поля становятся анизотропными. В качестве ВОУ можно использовать и проекционные калейдоскопы.

Автоматические устройства с подвижными трафаретами и динамикой форм в последнее время начали повсеместно вытеснять моноцветные АСМУ. Малогабаритные приставки к магнитофонам и радиолам серийно начали выпускаться многими зарубежными фирмами.

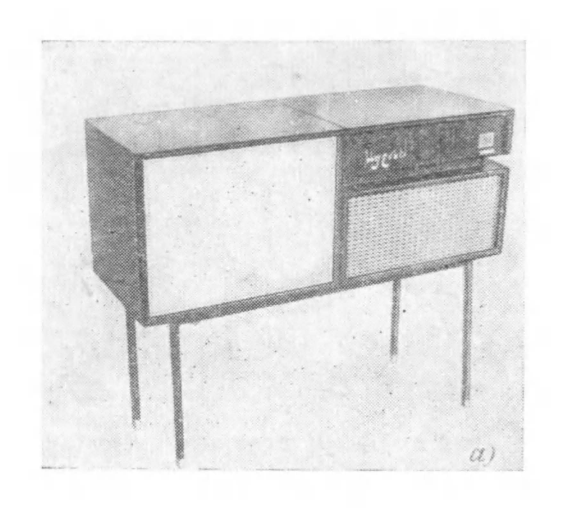
В роли подвижных «трафаретов» более мощных АСМУ могут выступать люди, танцующие на эстраде, на фоне экрана: конькобежцы, освещенные прожекторами, светящими вдоль катка; рыбы в аквариуме, превращаемом в ВОУ; водопады, фонтаны [Л. 11]. Большим праздником для жителей г. Еревана явилось открытие в 1971 г. мощных светомузыкальных фонтанов на площади им. В. И. Ленина [Л. 43].

Разумеется, введение форм еще не гарантирует впечатляющего и интересного результата. Чем большее количество параметров музыки и изображения будет вводиться в независимую синхронизацию для достижения согласно формуле (1) эффекта светозвука, тем более полным будет ощущение единства воздействия музыки и света.

Программа более сложных АСМУ — пусть они и несравнимы по осмысленности результата с настоящей светомузыкой, созданной человеком — должна быть построена на световом отображении не только ритма и громкости, но и по мере возможности инструментовки, мелодического и тональностного развития (согласно общезначимым соответствиям «цветного слуха», см. стр. 18).

Рассмотрим некоторые из них.

В АСМУ «Идель» для декоративного оформления интерьеров (СКБ «Прометей», 1967—1972 гг., различные варианты), выполненной в виде отдельной приставки к электроакустическим системам, используется транспарантная рирпроекция с соосными дисковыми трафаретами (рис. 17). Ко второму от кассеты диску дополнительно прикреплены объемные элементы из гнутой фольги. Через них и трафареты на экран направляется свет от 32 ламп, заключенных в кассету со стеклянными и ацетатными светофильтрами. Максимальная скорость вращения дисков 1—2 *об/мин*. Скорость их вращения можно сделать неодинаковой и зависящей от громкости звука в низком и высоком регистрах. Таким образом, обеспечивается возникновение эффекта светозвука еще по одному параметру. При усовершенствовании АСМУ можно связывать вращение уже не с громкостью, а, что, вероятно, более естественно для восприятия, с сигналами, характеризующими темп музыки или контрастность по громкости или высоте звука. Для обогащения фактуры изображения некоторые крупные отверстия дисков закрыты мелкой металлической сеткой и



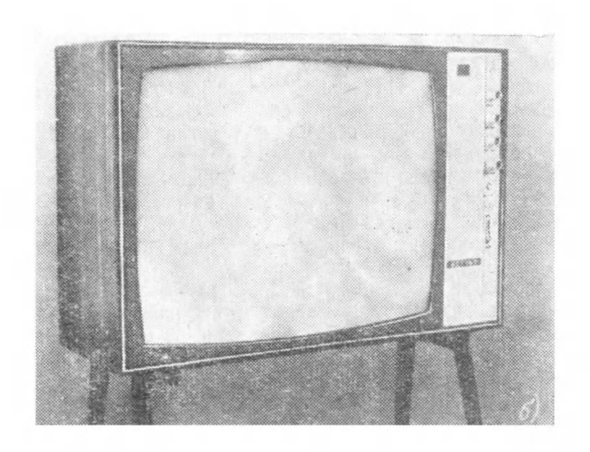


Рис. 56. Общий вид АСМУ «Идель» (автор проекта Б. Галеев, конструкторы Р. Галявин, Р. Сайфуллин, И. Галиуллин и др.).

АСМУ (вариант *а*) вручена в дни празднования 10-летия полета Ю. Гагарина космонавтам СССР в подарок от молодежи Татарии;
АСМУ (вариант *б*) демонстрировалась на ВДНХ.

очковыми линзами (от +1 до +10 диоптрий), которые позволяют формировать на экране яркие причудливые и меняющиеся при движении образы. Особенно интересный эффект получается при прохождении света через две линзы от обоих трафаретов. Оптическое устройство заключается в стандартный корпус телевизора (рис. 56, *а* и *б*). Средняя яркость экрана при использовании ламп СМ-24 (20 *вт*) равна 15—20 *кд/м*², а с лампами СМ-21 (70 *вт*) 40—75 *кд/м*².

Число цветовых каналов в «Идель» семь. Двухзвенные *RC*-фильтры (рис. 40) обеспечивает избирательность 25 *дб* на октаву. Резонансные частоты их 75, 140, 300, 600, 1 200, 2 400 *гц*. БУМ выполнен в одном из вариантов АСМУ на транзисторах (рис. 31), в другом — на тиристорах.

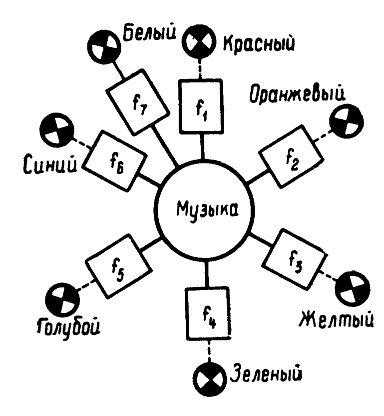


Рис. 57. Логика работы коммутатора цвета АСМУ «Идель».

Отличительной особенностью АСМУ «Идель» является ее программа, в которую внесены элементы автоматической «имитации творчества». Если в АСМУ «Радуга» коммутацию фильтров на входах к БУМ (или источников света на выходах БУМ) производит с помощью разъемов человек, если в некоторых других АСМУ это переключение производится так же от руки, но уже галетным переключателем [Л. 47, 51], то в данном устройстве это переключение осуществляется автоматически. И не так, как это делает американский конструктор Долленс — от реле времени, например, через каждую минуту, а только во время пауз, т. е. незаметно для зрителя. И без риска сжечь лампы или транзисторы в БУМ, что возможно при релейном переключении, если оно совпадет случайно с максимальной громкостью музыки. В качестве этого переключателя (коммутатора цвета) в АСМУ «Идель» использован шаговый искатель, управляемый сигналом от так называемого «селектора пауз».

Работа коммутатора цвета легко объясняется условной схемой, приведенной на рис. 57. Звуковой сигнал (музыка) анализируется по частотному составу системой фильтров f_1, f_2, ..., f_7. При определенном положении коммутатора самый низкочастотный фильтр f_1 связан с источником красного цвета; следующий f_2 — с оранжевым, и т. д. по цветовому кругу.

При переключении галетного переключателя (от руки) или шагового искателя (автоматически) красный цвет «перескакивает» к f_2, оранжевый — к f_3 и т. д., а с f_1 связывается уже синий цвет. Так, от паузы к паузе происходит шаговое переключение цветового круга относительно нашего условного «круга фильтров».

Так как эти переключения производятся плавно по спектру, и при постоянном соблюдении эффекта светозвука — то они не выглядят случайными. В то же время исключается угадываемость цвета, так раздражающая во всех АСМУ с жесткой программой.

Единственная жесткая связь введена в канале f_7 — белый цвет.

Если между цветами и регистрами нет особых предпочтительных связей, то звуки самого высокого регистра всегда выглядят пронзительными, яркими, острыми. Это проявление «цветного слуха» общезначимо. И поэтому белые лампы не только связаны с f_7, но и расположены в кассете так, чтобы просвечивать крайнюю кольцевую зону в трафаретах, где все фигуры маленького размера и резких форм (рис. 17).

Селектор пауз (рис. 58) может анализировать время отсутствия сигналов — или суммарного, или на выходе любого из фильтров.

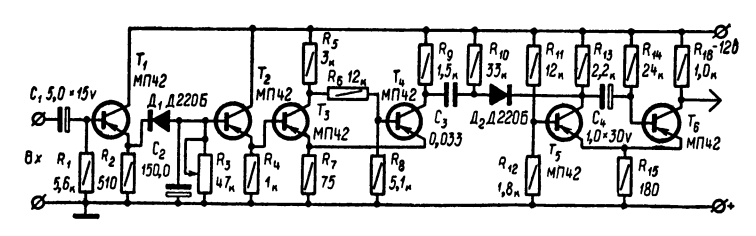


Рис. 58. Схема селектора пауз АСМУ «Идель».

Звуковой сигнал поступает на эмиттерный повторитель T_1, детектируется и через эмиттерный повторитель T_2 идет в пороговое устройство — триггер Шмитта (на транзисторах T_3—T_4). При уменьшении звукового сигнала до нуля продифференцированный фронт импульса с транзистора T_4 запускает ждущий мультивибратор (на транзисторах T_5—T_6), который формирует импульс, длительность которого достаточна для срабатывания реле. Контакты реле соединяют обмотку шагового искателя с источником питания, в результате чего и происходит переключение коммутатора цвета. С помощью R_3 можно выбирать время паузы, во время которой должен срабатывать селектор. Если его взять 1 *сек* и менее, то программа будет меняться в течение одного произведения несколько раз, в перерывах между фрагментами; если 3 *сек* и более, то только в паузах между произведениями. В АСМУ «Идель» предусматривается возможность отключения «селектора пауз» — для закрепления понравившегося цветового решения, или подачи сигнала на срабатывание шагового искателя от кнопки вручную — для самостоятельного подбора желаемой логики цветовых изменений.

Момент автоматической «имитации творчества» предусмотрен и в засветке пауз. Обычно цвет ее выбирается белым или фиолетовым (исходя из их «нейтральности»). Узнавание цвета паузы раздражает не менее чем угадываемость цвета в рабочем режиме. Чтобы исключить это, цвет пауз сделан тоже не постоянным и медленно изменяющимся, что достигается очень просто (рис. 17). Четыре лампы разного цвета находятся в центре кассеты в четырех раздельных ячейках. Они покрыты еще дополнительно матовыми фильтрами. Один из трафаретов пропускает свет от этих ламп полностью. У второго напротив ламп вырезан сегмент, который при медленном вращении открывает путь лучам лишь от одной из них, заполняя экран меняющимся по цветовому кругу светом. «Нейтральность» же, отличающая эту засветку от рабочего режима, заключена не в «нейтральности» цвета, а в более важном — в отсутствии в паузном освещении

пространственного развития, т. е. движущихся форм. В «Идели» предусмотрена возможность подбора относительных уровней засветки пауз в зависимости от условий демонстрации.

На выходе каждого БУМ имеется не одна, а несколько ламп со своими ключами, поочередно используя которые, можно разнообразить световую композицию на экране, или исключать вообще на время определенные цвета. Ключи эти могут быть вынесены в виде

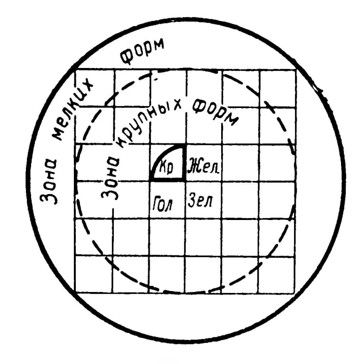
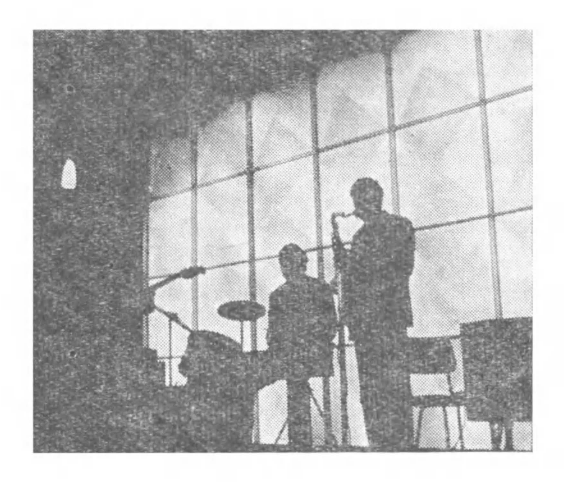


Рис. 59. Общий вид декоративной светомузыкальной панели. Стационарно функционирует в казанской гостинице «Татарстан» с 1970 г. (авторы проекта и конструкторы Б. Галеев, М. Агишев, Р. Даминов, Р. Галявин).



клавиатуры, так что данное устройство сочетает в себе возможности АСМУ и СМИ. В одном из маломощных вариантов АСМУ эта коммутация производится также автоматически, но не шаговым искателем, а с помощью электронного реле, также срабатывающего от сигнала с селектора пауз [Л. 16].

Декоративная светомузыкальная панель, разработанная СКБ «Прометей» для оформления интерьеров общественных зданий, работает по такой же программе (рис. 59). Только ВОУ ее решено ина-

че — за экраном, на расстоянии 1,5 *м* на стеллажах расположено 24 световых блока со своими трафаретами. В каждом из них — по четыре лампы двух цветов, расположенных по диагонали (серии ЗН, разной мощности — 300, 500, 700 и 1 000 *вт*). Белый свет проецируется через трафареты с более мелким рисунком. Паузная засветка производится матовыми лампами НЗК. Большинство используемых двигателей серии РД-09 выбрано с минимальной скоростью вращения

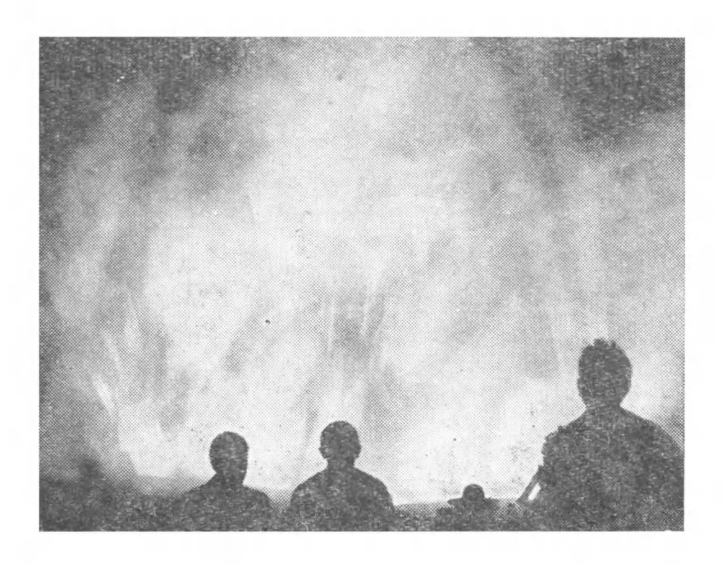


Рис. 60. Установка «Северное сияние» (автор проекта Б. Галеев, конструкторы В. Букатин, В. Политов).

(1,8 *об/мин*). В качестве БУМ использованы серийные регуляторы ПТО-230-50 и РНТО-330-63, применяемые обычно при управлении станками [Л. 43]. Другой вариант АСМУ под названием «Северное сияние» использовался для иллюстрирования лекций о космосе в Казанском планетарии (рис. 60).

Из зарубежных АСМУ такого рода заслуживает внимания работа Долленса. В ВОУ им используются специальные помятые отражатели и фары, которые к тому же еще и совершают медленное вращение и колебания. На пути света к экрану помещаются трафареты из рифленого стекла и набор линз. Блок управления выполнен на тиратронах. Скорость вращения некоторых двигателей связана с общей громкостью музыки [Л. 76].

Разумеется, совмещение разработанных во всех этих АСМУ приемов формообразования с логикой управления цветом, которая использовалась, например, в АСМУ «Цветомузыка» и УСС-5, откроет новые возможности для автоматического синтеза музыки и света Но, именно синтеза, а не однозначного «перевода», так как условие невозможности и ненужности его при переходе к формам становится еще более очевидным.

Варианты автоматического синтезирования, вероятно, неисчерпаемы. И конечный художественный результат будет зависеть от изобразительных возможностей имеющегося ВОУ и от особенностей программы БУ и, конечно, от того, в какой мере данные БУ и ВОУ соответствуют друг другу.

В данной книге авторы ограничились в основном возможностями традиционной проекционной оптики. Большие резервы скрыты для светомузыканта в телевизионной трубке — их уже стали использовать в последнее время, а фирма «Sutavision» начала выпускать серийные АСМУ на лазерах [Л. 77].

Но пока нет дешевых лазеров в магазинах «Юный техник», попробуйте свои силы на реализации следующих проектов АСМУ, раз-

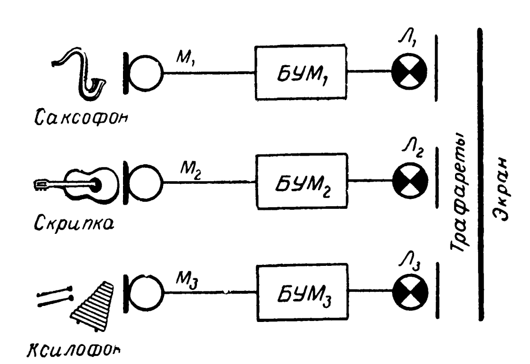


Рис. 61. Блок-схема АСМУ с цветофактурным отображением инструментовки музыки.

работанных в СКБ «Прометей» в 1967—1968 гг., но которые до сих пор еще не проверены до конца в действии.

Ассоциирование тембров с цветами и фактурой хоть и не однозначно для всех людей, но является распространенной формой «цветного слуха». А в пределах одного оркестрового состава, одного произведения или творчества одного композитора или целой музыкальной школы оно может быть устойчивым и постоянным [Л. 1, 9] Опираясь на этот факт, но не претендуя совершать «перевод», можно построить такое АСМУ с моделированием тембро-цветофактурных соответствий (рис. 61).

Так как не существует еще приборов, способных мгновенно производить анализ спектра звука и опознавать тембр, анализаторы в конкретно разработанной АСМУ заменены микрофонами, перед которыми расположены соответствующие инструменты, что, кстати, исключает пока возможность работы такого рода АСМУ от электрических систем звукозаписи.

Звук скрипки, вероятно, каждому не кажется «большим» по размеру, «коричневым», «черным», «мутным», «рваным», Наоборот, о них говорят «тонкий», «долгий», «прозрачный», «светлый» звук, — поэтому перед источниками света в канале скрипки поместим движущийся трафарет с рисунком такого качества.

Ксилофон аналогичным образом заставим светиться, на экране точечной россыпью, звездообразных, ярких вспышек.

К саксофону прикрепим трафарет с рисунком, где линии шире и округлее, чем у скрипки, и причудливо изгибаются — ведь именно с такими формами ассоциируется этот тембр. Светофильтры можно ставить по личному вкусу, но заведомо неодинаковые, так как мы на экране должны отличать друг от друга инструменты, как они отчетливо различаются на слух по тембру (кстати, «тембр» на многих языках переводится как «окраска» звука).

В другого типа АСМУ можно моделировать соответствия «размер — регистр» и некоторые элементы соответствий «графика — мелодия» (рис. 62).

Имеется три проектора. В каждом из них — по два вращающихся стеклянных трафарета с разнообразными рисунками, полученными фотоспособом. У первого проектора рисунок с расплывчатыми, тем-

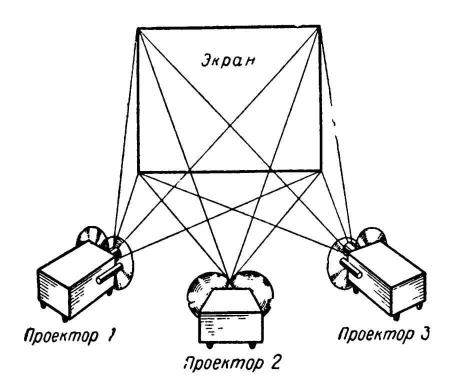


Рис. 62. ВОУ АСМУ со световым отображением регистра и основных мелодических характеристик.

ными, крупными формами. Его источник света управляется от фильтра низких частот. У второго формы средних размеров. Его лампа регулируется фильтром средних частот. У третьего рисунок с мелкими формами, резкими и тонкими светящимися линиями. Его лампа связана с фильтром высоких частот.

Таким образом, это АСМУ будет моделировать присущее всем «видение» низких звуков большими, темными, а повышение регистра связывать с «утончением» и с «посветлением» рисунка.

Перед каждым проектором вращаются дисковые светофильтры (на рис. 62 не указаны), расположенные так, чтобы цвета у трех проекторов не совпадали. Скорость вращения светофильтра поставлена в зависимость от темпа музыки (что, кстати, можно сделать и в предыдущем АСМУ). Анализатор темпа собирается, к примеру, на основе «селектора пауз», формируя сигнал, пропорциональный частоте появления всех микропауз или всех экстремумов в огибающей громкости и в мелодической линии, что в определенной мере характеризует темп. Скорости вращения трафаретов можно сделать тоже

переменными, причем двигатель трафарета, который проецирует поднимающиеся по экрану формы, надо управлять сигналом, характеризующим наличие и степень приращений высоты звука или частоты $\Delta f_{зв}$. А двигатель, вращающий трафарет в другую сторону, связан с наличием в мелодии отрицательного $\Delta f_{зв}$. И так в каждом проекторе. Такое АСМУ может дать световое отображение общезначимых представлений мелодических подъемов, спадов и их смен.

При появлении приборов, способных анализировать и опознавать все 24 тональности в звучащей музыке, возможно, появятся АСМУ, «иллюстрирующие» в цвете тональностное развитие. Тональности могут быть связаны с цветом жестко, например согласно конкретным данным «цветного слуха» для каждого композитора (на рис. 47,*б* заменяем фильтры на 24 анализатора тональностей) или по сменной программе (ту же замену проделаем на рис. 57).

В конце концов, из всех известных АСМУ можно отобрать и соединить в одном устройстве те элементы программы, которые не противоречат общезначимым закономерностям «цветного слуха». Велика ли и в чем будет эстетическая значимость такого синтеза — особенно в сравнении с возможностями человеческого творчества? Чтобы ответить на этот вопрос, читателю необходимо вернуться к гл. 1 и 2 и снова прочесть их, уже будучи знакомым с конкретным состоянием дел в области «машинного» синтеза музыки и света.

И пусть при этом путеводным лозунгом останутся слова Винера, основателя кибернетики: «Отдайте же человеку — человеческое, а вычислительной машине — машинное. В этом и должна, по-видимому, заключаться разумная линия поведения при организации совместных действий людей и машин. Линия эта в равной мере далека и от устремлений машинопоклонников, и от воззрений тех, кто во всяком использовании механических помощников в умственной деятельности усматривает кощунство и принижение человека».

Оптимальным условием решения творческих задач является, по Винеру, симбиоз машины и человека, что подтверждает и конструирование светомузыкальных устройств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Книга эта, — что, быть может, и не обычно для такого издания — содержит положения, которые многие конструкторы наверняка и вполне обоснованно сочтут за дискуссионные.

Но судьба нового вида искусства — как в том убедился уже, вероятно, читатель — сейчас во многой мере зависит от инженерной мысли. И, конечно, больше следует ожидать именно от конструктора спорящего, ищущего, а не от простого бездумного исполнителя готовых проектов и схем.

Если наша книга будет способствовать срабатыванию «спускового механизма» ваших конструкторских поисков, ее цель можно считать достигнутой.

...А теперь предположим, что вы уже собрали СМИ. Что с ним дальше делать? Если хотите и сможете справиться с задачей создавать сами световые партитуры — работайте с ним. Если нет — передайте его в надежные руки художника, музыканта, театрального осветителя, кинорежиссера,

Делаете АСМУ? Пожалуйста. Как же — это очень просто! Но помните — пока они «глупы», эти автоматы, им лучше доверять только легкую, эстрадную или электронную музыку. Из классической — быть может только «пейзажную», изобразительную. Хотите усложнить программу, выявить новые алгоритмы синтеза? И это можно. Только знайте, по невежеству революции нигде, в том числе и в искусстве, не совершаются. Изучайте теорию музыки, живописи, посещайте музеи, концерты. И помните — вы сами в самом начале нового вида искусства, его границы необозримы. Помните — будущее его в ваших руках!

ЛИТЕРАТУРА

Теория и история светомузыки

1. **Ванечкина И. Л.** Некоторые итоги анкетного опроса по выявлению закономерностей цветного слуха среди членов Союза композиторов СССР. — «Доклады VI Всесоюзной акустической конференции», М., 1968.

2. **Ванечкина И. Л.** Из опыта художественного решения проблемы синтеза музыки и света. — Симпозиум «Проблемы художественного восприятия» (тезисы и аннотации). Л., 1968.

3. **Ванслов В. В.** Изобразительное искусство и музыкальный театр. М., «Советский художник», 1963.

4. **Галеев Б. М.** Скрябин и Эйзенштейн — «Волга», 1967, № 7.

5. **Галеев Б. М.** Рассказ о видимой музыке. — В кн.: «Панорама», вып. 1. М., «Молодая гвардия», 1967.

6. **Галеев Б. М.** Поющая радуга. — «Уральский следопыт», 1968. № 10.

7. **Галеев Б. М.** Цветной слух и эффект светозвука. — «Доклады VI Всесоюзной акустической конференции». М., 1968.

8. **Галеев Б. М.** Проблема синэстезии в искусстве. — Симпозиум «Проблемы художественного восприятия (тезисы и аннотации). Л., 1968.

9. **Галеев Б. М.** Скрябин и развитие идеи видимой музыки. — В кн.: «Музыка и современность», вып. 6, М., «Музыка», 1969.

10. **Галеев Б. М.** Искусство светящихся звуков. — В кн.: «Студенческий меридиан», вып. 3, М., «Молодая гвардия», 1970.

11. **Галеев Б. М.** Свет — музыка — архитектура. — «Декоративное искусство СССР», 1970, № 6.

12. **Галеев Б. М.** О возможных формах взаимосвязи в системе «Художник — техника» в период научно-технической революции. — В сб. «Эстетическое воспитание в эпоху научно-технической революции» (к III Всероссийскому симпозиуму молодых ученых, июнь 1971), М., 1971

13. **Гидони Г. И.** Искусство света и цвета. Л., изд. автора, 1930.

14. **Ефимьев А.** Цвет и музыка. — «Наука и жизнь», 1961, № 8.

15, 16. Конференция «Свет и музыка» (тезисы и аннотации), Казань, 1969.

17. **Леонтьев К. Л.** Светомузыка. — «Техника — молодежи», 1959, № 10.

18. **Леонтьев К. Л.** Цвет «Прометея». М., «Знание», 1965.
19. **Леонтьев К. Л.** Музыка и цвет. М., «Знание», 1961.
20. **Матвеева Э.** Строчка «Люкс». — «Смена», 1966, № 2.
21. Материалы научно-технической конференции молодых ученых и специалистов Татарии. Казань, 1971. (Секция «Теория и практика видимой музыки»).
22. **Назайкинский Е., Рагс Ю.** Искусство ли это? — «Музыкальная жизнь», 1962, № 10.
23. Непродуманный опыт. — «Советская музыка», 1966, № 8.
24. **Ньютон И.** Оптика. (Пер. с англ.) М., Гостехиздат, 1954.
25. **Рагс Ю., Назнайкинский Е.** О художественных возможностях синтеза музыки и цвета (на материале анализа симфонической поэмы «Прометей» А. Н. Скрябина). — В кн.: «Музыкальное искусство и наука», вып. 1. М., «Музыка», 1970.
26. **Римский-Корсаков Г. М.** Расшифровка световой строки скрябинского «Прометея», «De Musica» (временник), вып. 2, Л., 1926.
27. **Сабанеев Л.** Скрябин. Изд. 2-е, М., Музсектор Госиздата, 1923.
28. **Эйзенштейн С. М.** Вертикальный монтаж. — Избр. соч. т, II. М., «Искусство», 1964.
29. **Юрьев Ф. И.** Музыка света. Киев, «Музична Україна», 1971.
30. **Wellek A.,** Castel L.-B. — Die Musik in Geschichte und Gegenwart. Allgemeine Enzyklopädie, hrsg. von F. Blume, Kassel und Basel, 1954.
31. **Galejew Bulat.** Synthese von Farbe und Musik — «Ideen des exakten Wissens», 1970, № 7.
32. **Jay M.** Light as art and entertainment. — «Light and Lighting» Febr. 1968.
33. **Jay M.** Light, movement and kinetic art.—«Light and Lighting». Febr. 1969.
34. **Klein A. B.** Colour music. The art of light. London, 1926.
35. **Laszlo A.** Die Farblichtmusik. Leipzig, 1925.
36. **Rimington A. W.** Colour music. London, 1912.
37. **Schoeffer Nicolas** (monographie), Neuchatel, Griffon, 1963.
38. **Schröder H.** Ton und Farbe, Berlin, 1906.

Технические разработки

39. **Аркатов А., Яковлев Ф.** «Малахит». — «Моделист-конструктор», 1971, № 3.
40. **Варшавский А. А.** Устройство для светового иллюстрирования звуков или световой сигнализации. — Патент № 7592, кл. 77 (СССР), 1929.
41. **Галеев Б. М.** Светомузыка и техника. — «Радио», 1969, № 9.
42. **Галеев Б. М.** О технике представлений «Звук и Свет». — «Сценическая техника и технология», 1971, № 4.
43. **Галеев Б. М.** Энтузиасты светомузыки 100-летию А. Н. Скрябина. — «Радио», 1972, № 1.
44. **Гидони Г. И.** Приспособление для получения световых декораций на прозрачном экране. Патент № 527, кл. 77 g (СССР), 1924
45. **Гордин А.** Симфония цвета. — «Юный моделист-конструктор», 1965, № 12.
46. Еще раз о союзе цвета и музыки. — «Юный техник», 1964, № 5.
47. **Желнов В.** Приставка для цветового сопровождения. — «Радио», 1967, № 8.

48. **Зыков Н.** Цветомузыкальная установка. — «Радио», 1968, № 1.
49. **Иванов Б.** Союз цвета и звука. — «Юный техник», 1965, № 8.
50. **Иванов Б.** Музыка в союзе с цветом. — «Юный техник», 1963, № 1.
51. **Иванов Б.** Цветомузыкальные приставки. М., «Малыш», 1964 (изд. 1-е), 1970 (изд. 2-е).
52. **Йенни Ганс.** Киматика: зримые образы вибраций. — «Курьер ЮНЕСКО», 1969, № 12.
53. **Кириленко А., Орлов В.** Цветомузыка. — «Техника — молодежи», 1965, № 10.
54. **Куганов С. О.** Устройство для сопровождения игры на музыкальном инструменте световыми эффектами. Авт. свид. № 46420, кл. 77 g, 9/10, 1936.
55. **Леонтьев В.** Музыкальный свет на елке. — «Радио», 1965, № 10 (повторение: «Юный техник», 1965, № 11).
56. **Михов В. И.** Устройство для изменения цвета светового пучка одновременно с изменением высоты звука. Авт. свид. № 14 830, кл. 77 g, 9/10, 1930.
57. **Михненко А. П.** Цветомузыкальная установка «Самоцвет», — «Радио», 1967, № 11; 1968, № 12.
58. **Михненко А. П.** Цветомузыкальные автоматы. — «Светотехника», 1971, № 2.
59. **Орлов В.** У цветовых истоков музыки. (Интервью с участниками Второй всесоюзной конференции «Свет и музыка».) — «Техника — молодежи», 1969, № 7.
60. **Познер Е. В.** Радиола «Гамма». — «Радио», 1966, № 2.
61. **Познер Е. В., Березин В. М., Докунин Б. П.** Радиоприемник с устройством светового сопровождения передач. Авт. свид. № 174541. Опубл. — «Изобретения. Пром. образцы. Товарные знаки», 1965, № 17.
62. **Правдюк Ю. А.** Установка для концертов цветомузыки. — «Сценическая техника и технология», 1970, № 6.
63. **Псурцев В., Терентьев Р.** Приставки для цветомузыки. — «Радио», 1966, № 9.
64. **Пушняков Б.** Светомузыкальное устройство. — «Радио», 1971, № 2 (повторение: «Техника — молодежи», 1970, № 5).
65. **Третьяков А. А.** Устройство для светового аккомпанемента музыки. Авт. свид. № 49 763 кл. 77 g, 17/00, 1936.
66. **Чудковский Б. С., Чубарь А. Ф., Титов В. М., Дупак Н. Л.** Устройство для создания цветоэффекта. Авт. свид. № 236293. Опубл. — «Изобретения. Пром. образцы. Товарные знаки», 1969, № 4.
67. Audio-color — «Electronics World», March 1968, p. 75.
68. Audio color organ. — «Radio-electronics», July, 1969, p. 98.
69. Audio-Sphere-Lite. — «Radio-electronics», March 1970, p. 83.
70. **Blechman F.** Transistor-photocell color organ. — «Electronics World», July 1964.
71. Color light organ. — «Radio-electronics», Jan. 1970, p. 82.
72. Color organ, ibid.
73. Color organ. — «Radio-electronics», May, 1970, p. 77.
74. Color organ. — «Radio-electronics», Nov. 1970, p. 14.
75. Color organ-kit. — «Electronics World», April 1970, p. 86.
76. **Dohens M.** A wall-projection color organ. — «Audio», March 1963; April 1963.
77. Domestic and decorative lighting-Lightshow in preview. «Electrical Times», 15 Jan. 1970, p. 58.

78. Edmund Scientific Co. S. Motiondizer. — «Radio-electronics» Feb. 1969, p. 75.
79. Electronic color organ. — «Electronics World», Oct. 1962, p. 116,
80. **Hertzler R. A.** High-power color organ — «Electronics World», Sept. 1970.
81. High-powerd color organ. — «Radio-electronics», April 1970, p. 80.
82. **Holder F. W.** Color organ and strobe light enhance music. — «Electronics World», Jan. 1971.
83. **Hollins B.** Build R — F's stereo color organ. — «Radio-electronics», Oct. 1969.
84. **Lancaster D.** Solid-state 3-channel color organ. — «Electronics World», April 1963.
85. **Lancaster D.** Simplified solid-state color organ. — «Electronics World», Jan. 1964.
86. **Lancaster D.** Build this new high-power colorgan. — «Radio-electronics», Oct. 1965.
87. «Magicolor-II.» — «Le Haut-Parleur», 1969, № 1194.
88. Music-Vision. — «Electronics World», Jan. 1969, p. 61.
89. Musically controlled lighting. — «Light and Lighting», April 1968, p. 116.
90. New color-organ kit. — «Electronics World», May 1969, p. 80.
91. **Powell J. M.** A new approach to color-organ design. — «Electronics World», Jan 1969.
92. **Reynolds W. S.** SCR color organ. — «Electronics World», March 1968.
93. **Shakespeore C.** Sound activated color display. — «Audio», Sept. 1966.
94. **Southworth G.** Medium power color organ. — «Radio and TV news», Oct. 1957.
95. Speaker/color organ. — «Electronics World», Sept. 1970, p. 80.
96. **Wortman L.** «Photorhythmicon» — dancing lights. — «Radio and TV news», Aug. 1958.
97. **Wortman L.** Transistorized photorhythmicon. — «Electronics World», May 1962.

Дополнительная литература

98. **Шарпов В. В.** Свет и цвет. М., Госиздат физ.-мат. литературы, 1961.
99. **Ивенс Р. М.** Введение в теорию цвета. Пер. с англ. М., «Мир», 1964.
100. **Цойгнер Г.** Учение о цвете. Пер. с нем. М., Стройиздат, 1971.
101. **Беляева Н. М.** Новые пленочные светофильтры. — «Сценическая техника и технология», 1967, № 1.
102. **Жевандров Н. Д.** Поляризация света. М., «Наука», 1969.
103. **Бронников А. В.** Театральные световые эффекты. М., «Искусство», 1962.
104. **Пул Г.** Основные методы и системы индикации. Пер. с англ. Л., «Энергия», 1969.
105. Справочник «Микроэлектродвигатели для систем автоматики. М., «Энергия», 1969.
106. **Гуторов М. М.** Основы светотехники и источники света. М., «Энергия», 1968.

107. **Голдовский Е. М.** Светотехника кинопроекции. М., «Искусство», 1968.

108. **Ирский Г. В.** Экраны. М., «Искусство», 1965.

109. **Дмитриева С. М., Осколков И. Н., Тихменева Н. А.** Современные регуляторы света. — «Техника кино и телевидения», 1967, № 11.

110. **Соболевский А. Г.** Магнитные усилители — что это такое? М., Госэнергоиздат, 1963.

111. **Авдеев О. В.** и др. Полупроводниковые системы управления тиристорными преобразователями. Куйбышев, 1967.

112. **Лекоргийе Ж.** Управляемые электрические вентили и их применение. Пер. с франц. М., «Энергия», 1971.

113. **Стоковский Л. Н.** Музыка для всех нас. М., «Советский композитор», 1959.

114. **Сохор А. Т.** Музыка как вид искусства. М., «Музыка», 1970.

115. **Способин И. В.** Элементарная теория музыки. М.—Л., Госмузиздат, 1951.

116. **Чесноков А. А.** Решающие усилители. М., «Энергия», 1970.

117. **Конашинский Д. А.** Частотные электрические фильтры. М., Госэнергоиздат, 1959.

118. **Маклюков М. И.** Расчет полупроводниковых *RC*-фильтров. — «Радио», 1966, № 2.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цена 33 коп.